



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

**GEOLOGIA, ASPECTOS PETROGRÁFICOS E
GEOQUÍMICA PRELIMINAR DAS ROCHAS
VULCÂNICAS - SUBVULCÂNICAS MÁFICAS
(ANDESITOS – DIORITOS) E FÉLSICAS (DACITOS -
TONALITOS), REGIÃO ENTRE TIRADENTES E
PRADOS, ESTADO DE MINAS GERAIS.**

THAYLA ALMEIDA TEIXEIRA VIEIRA

ORIENTADORES: Prof. CIRO ALEXANDRE ÁVILA
(Departamento de Geologia e Paleontologia – Museu Nacional – UFRJ)

Prof. EVERTON MARQUES BONGIOLO
(Departamento de Geologia – Instituto de Geociências – CCMN – UFRJ)

PETRO-MIN: Grupo de Estudos em Petrologia e Mineralogia
(Sediado no Departamento de Geologia e Paleontologia – Museu Nacional)

FEVEREIRO, 2012
RIO DE JANEIRO – RJ – BRASIL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

**GEOLOGIA, ASPECTOS PETROGRÁFICOS E
GEOQUÍMICA PRELIMINAR DAS ROCHAS
VULCÂNICAS - SUBVULCÂNICAS MÁFICAS
(ANDESITOS – DIORITOS) E FÉLSICAS (DACITOS -
TONALITOS), REGIÃO ENTRE TIRADENTES E
PRADOS, ESTADO DE MINAS GERAIS.**

THAYLA ALMEIDA TEIXEIRA VIEIRA

APROVADA POR:

Dr. Ciro Alexandre Ávila

Dr. Everton Marques Bongiolo

Dr. Atlas Vasconcelos Corrêa Neto

Dra. Mônica da Costa Pereira Lavalle Heilbron

**PETRO-MIN: Grupo de Estudos em Petrologia e Mineralogia
(Sediado no Departamento de Geologia e Paleontologia – Museu Nacional)**

**FEVEREIRO, 2012
RIO DE JANEIRO – RJ – BRASIL**

FICHA CATALOGRÁFICA

Vieira, Thayla Alemida Teixeira

GEOLOGIA, ASPECTOS PETROGRÁFICOS E GEOQUÍMICA PRELIMINAR DAS ROCHAS VULCÂNICAS - SUBVULCÂNICAS MÁFICAS (ANDESITOS - DIORITOS) E FÉLSICAS (DACITOS - TONALITOS), REGIÃO ENTRE TIRADENTES E PRADOS, ESTADO DE MINAS GERAIS.

CIV, 104 p., 29,7 cm (Instituto de Geociências – Departamento de Geologia – UFRJ, Monografia de Graduação, 2012).

Monografia: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia.

- 1 – Andesito máfico Santo Antônio
- 2 – Suíte félsica Tiradentes
- 3 – Petrografia
- 4 – Geoquímica
- 5 – Cinturão Mineiro
- 6 – Cráton São Francisco

I – IGEO/UFRJ

II – Título (série)

RESUMO

Vieira, T. A. T. **Geologia, aspectos petrográficos e geoquímica preliminar das rochas vulcânicas - subvulcânicas máficas (andesitos – dioritos) e félsicas (dacitos - tonalitos), região entre Tiradentes e Prados, Estado de Minas Gerais.** Ano 2012, CIV, 104p. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A região entre as cidades de São João del Rei e Tiradentes é representada por um substrato composto de rochas vulcano-sedimentares atribuídas aos *greenstone belts* Rio das Mortes, Nazareno e Dolores de Campos e por diversos corpos paleoproterozóico Ryacianos, dentre os quais destacam-se rochas subvulcânicas e vulcânicas félsicas da suíte Serrinha em São João del Rei e do córrego Santo Antônio, em Tiradentes. Neste contexto se formaram as rochas estudadas no presente trabalho.

Na região entre as cidades de Tiradentes, Vitoriano Veloso, Prados e Dolores de Campos (Minas Gerais) foi realizado o mapeamento geológico na escala 1:25.000 de cerca de 85km², envolvendo principalmente o andesito máfico Santo Antônio e as rochas da suíte félsica Tiradentes.

As rochas do andesito máfico Tiradentes são faneríticas finas a médias, mesocráticas, variam de andesitos a dioritos (mais restritos) e possuem fenocristais de anfibólio de até 6mm. Estas são cortadas por diques de metabasito, pegmatitos, por delgados veios de epidoto, quartzo e carbonato, bem como ocorrem como xenólitos ou sendo entrecortada por diques das rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas. As rochas andesíticas apresentam textura equigranular, possuem textura lepidoblástica e nematoblástica. As rochas da unidade em questão são compostas essencialmente pelo plagioclásio, hornblenda e biotita e tem como minerais acessórios o zircão, apatita e opacos. Posteriormente, sua mineralogia primária foi superinposta por minerais secundários associados a um processo metamórfico regional caracterizado pelo crescimento de actinolita, epidoto, biotita₂ e titanita. Logo após o evento descrito, todo o conjunto foi modificado por processo metamórfico – hidrotermal que ocasionaram a epidotização, sericitização e a cloritização de alguns minerais.

A suíte félsica Tiradentes é constituída por dois conjuntos de composição semelhante, porém de texturas diferentes (tonalitos – dacitos), onde essa diferenciação representa distintos níveis crustais de consolidação do magma pai. Neste contexto, a suíte pode ser subdividida em: 1) corpos vulcânicos e subvulcânicos félsicos afaníticos, incluindo predominantemente andesitos, dacitos e granófiros, com texturas que variam de equigranulares a microporfíricas, onde algumas amostras apresentam estrutura acamadada e; 2) corpos subvulcânicos félsicos,

faneríticos de finos a médios, com textura variando de equigranular a porfirítica. Estes conjuntos são compostos essencialmente por plagioclásio, quartzo e biotita, bem como apresentam agregados contendo clorita, biotita, epidoto e titanita, que foram interpretados como xenólitos máficos parcialmente assimilados de rochas da unidade andesítica Santo Antônio. Estas rochas variam de metaluminosas a peraluminosas, podem ser classificadas como trondhjemitos de baixo conteúdo de Al_2O_3 e teriam se formado em um ambiente de arco vulcânico intra-oceânico a partir da cristalização de um magma andesítico de baixo potássio ou pela cristalização de um magma gerado pela fusão parcial de um anfibolito ou gabro. Neste caso, as diferenças texturais observadas estariam associadas à cristalização do magma em diferentes níveis crustais.

Os dados obtidos apontam que os componentes da suíte félsica Tiradentes correspondem à segunda ocorrência de rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas riacianas do cinturão Mineiro, o que caracteriza que pelo menos uma parte do compartimento vulcânico desse cinturão está exposto no presente nível crustal. Neste contexto, a origem destas rochas está associada a um magma trondhjemítico que teria evoluído e cristalizado bem próximo a superfície em um ambiente do tipo arco de ilha intra-oceânico.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Luzia de Almeida de Jesus e ao meu pai, José Roberto Teixeira Vieira, sem os quais não estaria aqui, e por terem me fornecido condições para me tornar a profissional e ser humano que sou e pelos inúmeros puxões de orelha, que sempre soaram como incentivo para seguir em frente. Sem o amor e o carinho de vocês não teria conseguido completar essa etapa tão importante da minha vida.

Ao meu irmão, José Roberto Teixeira Vieira Filho, pela amizade, apoio e carinho que sempre dedicou a mim.

Ao professor e orientador, Ciro Alexandre Ávila, pelos ensinamentos e dedicação dispensados na concretização dessa monografia;

Às amigas Polyana Martins, Rafaela Sant'Anna, Alessandra Chermont, Roberta Costa, Carolina Evangelista e Fernanda Córdia, que sempre torceram pelo meu sucesso.

Aos amigos que fiz durante o curso, em especial, Stephanie Senderowitz, Martha Gutierrez, Mellissa Baiense, Mariana Brando, Gisele Giseé, Patrícia Miranda, Diego Gracioso, Thiago Briones, Lucas Santos e Júlia Carelli, por todos os momentos que passamos juntos. Sem vocês essa trajetória não seria tão prazerosa.

Júlia Guerrero, que me forneceu bons momentos de discussão construtiva sobre a área de estudo, tornou os dias de mapeamento bem divertidos e proveitosos e que sempre esteve disposta a ajudar.

Ao Marcelo Jochem pela amizade e carinho e também por me ajudar nos ajustes finais da monografia.

SUMÁRIO	pág.
CAPA	I
CONTRA CAPA	II
FICHA CATALOGRÁFICA	III
RESUMO	IV
AGRADECIMENTOS	VI
SUMÁRIO	VII
ÍNDICE DE TABELAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
1 – INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA	1
2 – OBJETIVO E COMO ALCANÇA-LO	3
3 – LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	4
4 – MÉTODOS DE TRABALHO	5
4.1 – INTRODUÇÃO	5
4.2 – ETAPA PRÉ CAMPO	7
4.3 – ETAPAS DE CAMPO	7
4.3.1 – Mapeamento geológico	7
4.3.2 – Coleta e preparação de amostras de rochas	8
4.4 – ETAPAS DE LABORATÓRIO	8
4.4.1 – Petrografia	8
4.4.2 – Preparação de rocha para análise geoquímica	9
4.4.3 – Análise química	9
4.5 – ETAPA DE ESCRITÓRIO	10
5 – NOMECLATURA ADOTADA PARA OS LITÓTIPOS	11
6 – COMENTÁRIOS DOS TRABALHOS PRÉVIOS	18
7 – GEOLOGIA REGIONAL	21
7.1 – INTRODUÇÃO	21
7.2 – CRÁTON SÃO FRANCISCO	22
7.3 – BORDA MERIDIONAL DO CRÁTON SÃO FRANCISCO	22
7.4 – CINTURÃO MINEIRO	24
8 – GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA	27
8.1 - INTRODUÇÃO	27
8.2 - ANDESITOS MÁFICOS SANTO ANTÔNIO	30
8.2.1 – Aspectos de campo	30
8.2.2 – Aspectos Petrográficos	33
8.2.2.1 – Feições Ígneas	36
8.2.2.2 – Feições Metamórficas	38
8.2.2.3 – Feições Metamórficas - Hidrotermais	42
8.2.3 – Geoquímica	45
8.3 - SUÍTE FÉLSICA TIRADENTES	50
8.3.1 – Aspectos de campo	50
8.3.2 – Aspectos Petrográficos	55
8.3.2.1 – Feições Ígneas	56
8.3.2.2 – Feições Metamórficas - Hidrotermais	63
8.3.3 – Geoquímica	66
8.4 – GABRO VITORIANO VELOSO	76
8.4.1 – Aspectos de campo	76
8.4.2 – Aspectos Petrográficos	77
9 – DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	83
10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	98
11 - ANEXOS	

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 – Lista de lâminas delgadas relacionadas a presente monografia e a de Guerreiro (2011). ---	5
Tabela 2 – Listagem de amostras estudadas por MEV-EDS por Guerrero (2011) e que fazem parte da área mapeada. -----	7
Tabela 3 – Listagem de amostras enviadas para análise geoquímica. Legenda: vulc./subv. = vulcânica/subvulcânica; * = incluindo análise de elementos terras raras e; ** = corpo subvulcânico tonalítico, situado a sul do Rio das Mortes. -----	10
Tabela 4 – Classificação da granulação da rocha fanerítica, baseada no tamanho dos cristais (Williams <i>et al.</i> , 1954). -----	14
Tabela 5 – Índice de cor segundo o teor de minerais máficos (Le Maitre <i>et al.</i> , 2002). -----	15
Tabela 6 – Análises químicas para elementos maiores (% peso) e traços (ppm) das rochas do andesito máfico Santo Antônio. Legenda: - = teores abaixo dos níveis de detecção.-----	45
Tabela 7 – Resultados geoquímicos de elementos maiores (% peso), menores (% peso) e traços (ppm) das rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas e faneríticas da suíte félsica Tiradentes e de um tonalito que aflora a sul do Rio das Mortes. Legenda: - = teores abaixo dos níveis de detecção; N.A. = não analisados. -----	69
Tabela 8 – Resultados geoquímicos de elementos terras raras (ppm) e norma CIPW das rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas e faneríticas da suíte félsica Tiradentes. Legenda: Q = quartzo; C = córindon; Or = ortoclásio; Ab = albita; An = anortita; Di = diopsídio; Hy = hiperstênio; Il = ilmenita; Hm = hematita; Tn = titanita; Ru = rutilo; Ap = apatita e; Pr = pirita. -----	70
Tabela 9 – Síntese dos eventos metamórficos paleoproterozoicos da borda meridional do cráton do São Francisco (segundo Ávila <i>et al.</i> , 2010 e 2008) – e do evento neoproterozoico. -	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 – Localização da área estudada e principais vias de acesso. B = São João del Rei, C = Prados e D = Vitoriano Veloso (vulgo Bichinho). Fonte: *Google maps* 02/02/2012. -----4

Figura 2 – Diagrama TAS (*Total Alcalis versus Silica*) para classificação geoquímica de rochas vulcânicas (Le Bas *et al.*, 1986).-----12

Figura 3 – Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para classificação de rochas plutônicas com Índice de cor inferior a 90%. 0- Quartzolito; 1- Granitóide rico em quartzo; 2- Álcali-feldspato granito; 3a- Sienogranito; 3b- Monzogranito; 4- Granodiorito; 5- Tonalito; 6'- Quartzo álcali-feldspato granito; 7'- Quartzo sienito; 8'- Quartzo monzonito; 9'- Quartzo monzodiorito/Quartzo monzogabro; 10'- Quartzo diorito/ Quartzo gabro/ Quartzo anortosito; 6- Álcali-feldspato granito; 7- Sienito; 8- Monzonito; 9- Monzodiorito/ Monzogabro; 10- Diorito/ Gabro/ Anortosito-----12

Figura 4 – Diagrama P-T (Pressão-Temperatura) mostrando os campos das várias fácies metamórficas (em azul) e os campos de estabilidade das correspondentes fases minerais (em vermelho). Abreviações utilizadas: HNFs = hornfels; AE = albita-epidoto; HBL = hornblenda; PX = piroxênio; PREH-PUMP = prehnita-pumpellyita; Olig = oligoclásio; Plag = plagioclásio; Qtz = quartzo (Eskola 1915 in Yardley, 2004).-----13

Figura 5 – Esquema representando cinco casos distintos da relação entre o tamanho de grão em rochas ígneas cristalinas (Dorado, 1989). -----15

Figura 6 – Mapa geológico editado de Ebert (1957) referente à região entre as cidades de Tiradentes e Prados. -----18

Figura 7 – Mapa geológico editado de Noce (1987) referente a região entre as cidade de Tiradentes, Prados e Dolores de Campos. -----20

Figura 8 – Distribuição geográfica dos principais crátons brasileiros e expressão de relevo (Compilada de Alkmim, 2004). -----21

Figura 9 – Cráton São Francisco e o cinturão Mineiro na sua borda meridional (Compilado de Alkmim, 2004). -----22

Figura 10 – Distribuição dos crátons maiores da América do Sul e da África e os orógenos neoproterozóicos envolventes (Compilada de Alkmim, 2004). -----23

Figura 11 – Cráton São Francisco e faixas móveis marginais (Compilado de Alkmim, 2004). -
-----23

Figura 12 – Rochas que compõem o cinturão Mineiro: gnaisses e migmatitos arqueanos parcialmente retrabalhados no paleoproterozóico, rochas do *greenstone belt* Rio das Velhas, do supergrupo Minas e os granitóides arqueanos e paleoproterozóicos. -----25

Figura 13 – Limite cratônico destacado pela linha vermelha. -----26

Figura 14 – Mapa geológico da região entre Tiradentes, Prados e Dolores de Campos. I- Metaperidotito-metagabro Estação de Prados: Ia – Metadunitos, metapiroxenitos e

anfíbolitos; Ib – Metagabros; II – *Greenstone Belt* Dores de Campos: IIa – Serpentinitos, talco xistos, tremolita xistos e metakomatiíto intercalados com raros níveis de gonditos, quartzitos e filitos; IIb – Anfíbolitos, granada anfíbolitos, xistos verdes com raros níveis de quartzitos e filitos associados; III – Andesito máfico Santo Antônio; IV – Suíte félsica Tiradentes; IVa – Corpos subvulcânicos félsicos com textura equigranular; IVb – Corpos vulcânicos e subvulcânicos félsicos com textura afanítica (equigranular e porfírica), granofírica, acamadada e de fluxo magmático; V – Diorito Dores de Campos; VI – Tonalito Brejo Alegre; VII – Gabro Vitoriano Veloso; VIII – Tonalito; IX – Sequência metavulcânica – metassedimentar Estação de Tiradentes; X – Magnetita clorita filito; XI – Megassequências São João Del Rei e Carandaí; XII – Sedimentos recentes; XIII – Contatos inferidos; XIV – Contatos observados; XV – Estruturas interpretadas e inferidas; XVI – Falha transcorrente. ----
-----27

Figura 15 – Afloramento bastante alterado (saprólito) de rocha metamáfica correlacionada à unidade andesito máfico Santo Antônio. -----30

Figura 16 – Saprólito típico da rocha do andesito máfico Santo Antônio. -----31

Figura 17 – Saprólito do andesito máfico Santo Antônio (AM) em contato com rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes (VF). -----31

Figura 18 – Amostra de uma brecha magmática com interações complexas entre dioritos/gabros (DI), rochas máfica (AM - correlacionada à sequência andesítica máfica Santo Antônio) e rochas vulcânicas - subvulcânicas félsicas (VF - associadas à suíte félsica Tiradentes). Ponto BIA-73. -----31

Figura 19 – Rocha mesocrática e fanerítica fina a média da unidade andesito máfico Santo Antônio.-----32

Figura 20 – Amostra da unidade andesito máfico Santo Antônio composta por plagioclásio, anfíbólio e biotita. Esta apresenta pequenos fenocristais de anfíbólio e é cortada por delgados veios de epidoto. -----32

Figura 21 – Xenólito de rocha máfica (VM) correlacionado à unidade máfica Santo Antônio em rocha vulcânica - subvulcânica da suíte félsica Tiradentes (VF) contendo. Ponto JU-87. ---
-----33

Figura 22 – Afloramento do andesito máfico Santo Antônio (AM) sendo cortado por um dique de rocha félsica correlacionado a suíte félsica Tiradentes (VF). Ponto JU-87. -----33

Figura 23 – Pegmatito (Peg) centimétrico cortando saprólito amarronzado correlacionado a unidade andesito máfico Santo Antônio. -----34

Figura 24 – Veio de quartzo em saprólito amarronzado da unidade andesito máfico Santo Antônio.-----34

Figura 25 – Textura geral das rochas da unidade andesito máfico Santo Antônio. Lâmina BIA – 33L. **a)** Textura equigranular com polarizadores cruzados; **b)** Textura equigranular com polarizadores paralelos; **c)** Tamanho dos cristais.-----35

- Figura 26** – Textura lepidoblástica dada pela orientação dos grãos de biotita e hornblenda nas rochas da unidade andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina JU-87B.-----35
- Figura 27** – Textura nematoblástica das rochas da unidade andesito máfico Santo Antônio mostrando orientação dada pela biotita e epidoto. Lâmina JU-87G1. -----36
- Figura 28** - Grãos de plagioclásio com forma hipidiomórfica e geminação polissintética (destacada pelo retângulo vermelho). Este grão é cortado por veio de clorita e biotita. Andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA – 33L. -----36
- Figura 29** – Grão de hornblenda de coloração esverdeada e aspecto “sujo” devido à presença de minerais castanhos e opacos com forma acicular. Andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina BIA-33A. -----37
- Figura 30** – Mineral opaco idiomórfico no andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina BIA-16. -----37
- Figura 31** – Cristais de apatita (APA) no andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina BIA-33L.-----37
- Figura 32** – Grão de zircão (elipse vermelha) incluso em biotita do andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina JU-87G1. -----38
- Figura 33** – Grãos de titanita (TIT) desenvolvidos ao redor dos minerais opacos no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina JU-102A. -----39
- Figura 34** – Grãos de actinolita (ACT) prismático e tabular no andesito máfico Santo Antônio. **a)** polarizadores paralelos, **b)** polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33B.-----39
- Figura 35** – Hornblenda marrom (HBL) rica em inclusões ou exsoluções de minerais opacos e castanhos aciculares com sobrecrecimento de actinolita (ACT), livre das inclusões. Andesito máfico Santo Antônio. **a)** polarizadores paralelos, **b)** polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33B. -----39
- Figura 36** – Fenocristais primários de hornblenda (HBL) e biotita (BIO_1) no andesito máfico Santo Antônio com o crescimento de biotita₂ nas bordas. Polarizadores paralelos. Lâmina 102A. -----40
- Figura 37** – Cristal de plagioclásio do andesito máfico Santo Antônio fortemente epidotizado e sericitizado. Polarizadores cruzados. Lâmina 109A. -----40
- Figura 38** – Grãos de titanita associados ao plagioclásio epidotizado na matriz fina do andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina BIA-33A. -----41
- Figura 39** – Epidoto associado à matriz do andesito máfico Santo Antônio como provável produto da alteração de grãos de plagioclásio muito finos. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87G11.-----41

- Figura 40** – Aglomerado de grão de titanita (circulada em vermelho) associado aos cristais de hornblenda (com cor esverdeada) no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina BIA33L.-----42
- Figura 41** – Aglomerado de grãos de titanita (elipse vermelha) associado com biotita e epidoto (elipse azul) no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87 G11.-----42
- Figura 42** – Grãos de clorita se desenvolvendo ao redor de hornblenda tabular, que está em paragênese com epidoto no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33A. -----43
- Figura 43** – Biotita substituída parcialmente pela clorita no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33A -----43
- Figura 44** – Crescimento de grãos de muscovita na borda do cristal de biotita do andesito máfico Santo Antônio. **a)** polarizadores paralelos. **b)** polarizadores cruzados. Lâmina JU-87G11. -----44
- Figura 45** – Grão de titanita (amarelo) associada a clorita que substitui um cristal de biotita no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33A. -----44
- Figura 46** – Feição hidrotermal representada pelo crescimento de epidoto envolvendo allanita (circulo preto) e com desenvolvimento de clorita (CLO) na borda do epidoto. Andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33B. -----44
- Figura 47** – Diagrama TAS (Le Bas *et al.*1985) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio. -----46
- Figura 48** – Diagrama Winchester & Floyd (1977) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio. -----47
- Figura 49** – Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) para os as rochas do andesito máfico Santo Antônio. -----47
- Figura 50** – Diagrama $[Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)]_{mol} \times [Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)]_{mol}$ (Maniar & Picolli, 1989) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio. -----48
- Figura 51** – Diagrama $TiO_2 \times (10xMnO) \times (10xP_2O_5)$ (Mullen, 1983) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio. Legenda: OIT = toleíta de arco de ilha, OIA = basalto alcalino de arco de ilha, IAT – toleíta de arco de ilha, CAB = basalto de arco continental. -----48
- Figura 52** – Diagrama Ti x Zr (Pearce & Cann,1973) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio. Legenda: OIT = toleíta de arco de ilha, OIA = basalto alcalino de arco de ilha, IAT – toleíta de arco de ilha, CAB = basalto de arco continental. -----49
- Figura 53** – Diagrama Zr/Y x Zr (Pearce & Norry, 1979) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio. -----49
- Figura 54** – Variação faciológica das rochas da suíte félsica Tiradentes. -----50

- Figura 55** – Contato brusco entre rocha subvulcânica félsica afanítica da suíte félsica Tiradentes (VF) e rocha da unidade andesítica máfica Santo Antônio (AM). A forma do contato é evidenciada pelo tracejado amarelo. Ponto JU-87. -----51
- Figura 56** – Contato irregular entre rocha subvulcânica félsica afanítica da suíte félsica Tiradentes (VF) e rocha da unidade andesítica máfica Santo Antônio (AM). A forma do contato é evidenciada pelo tracejado amarelo (em b). Ponto JU-87. -----51
- Figura 57** – Diques tabulares e retilíneos de rocha subvulcânica félsica afanítica da suíte félsica Tiradentes (cor vermelho em b) cortando as rochas andesíticas máficas Santo Antônio (cor verde em b). Ponto JU-87.-----52
- Figura 58** – Perfil do córrego Santo Antônio mostrando interação entre as rochas do andesito máfico Santo Antônio (em verde) e da suíte félsica Tiradentes (em vermelho).-----52
- Figura 59** – Saprólito típico das rochas vulcânicas e subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes. -----52
- Figura 60** – Pegmatito centimétrico com presença de intercrescimento gráfico. Estes corpos ocorrem associados com as intrusões félsicas tardias da região.-----53
- Figura 61** – Rocha félsica subvulcânica fanerítica da suíte félsica Tiradentes, contendo enclave xenolítico máfico envolvido pela elipse vermelha. Ponto JU-74.-----54
- Figura 62** –(a) Rocha félsica subvulcânica fanerítica da suíte félsica Tiradentes em comparação com (b) rocha tonalítica que ocorre a sul do Rio das Mortes, mais máfica e foliada.-----54
- Figura 63** – Contato entre os saprólitos das rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas (VF – cor esbranquiçada) e andesito máfico (AM - cor vermelho – amarronzada). -----55
- Figura 64** – Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes com textura equigranular. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-69C. -----56
- Figura 65** – Rocha vulcânica - subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes, com textura porfirítica representada por fenocristal de plagioclásio com bordas fortemente corroídas. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87C1 (A) e JU-87J (B).-----57
- Figura 66** – Rocha vulcânica - subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com textura glomeroporfirítica dada pela reunião de fenocristais de plagioclásio. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-31E (A) e JU-87A (B). -----57
- Figura 67** – Rocha vulcânica – subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes, com textura esferulítica (círculo amarelo), possivelmente resultado de um processo de devitrificação do magma. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-87F1 (A) e JU-87F (B). -----57
- Figura 68** – Rocha vulcânica - subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com uma antiga vesícula (hoje amígdala) preenchida por quartzo (textura vacuolar). Lâmina BIA-87C (A) e JU-87F2 -----58

- Figura 69** – Rocha vulcânica - subvulcânica da suíte félsica muito fina Tiradentes com textura granofírica, representada pelo intercrescimento de feldspato e quartzo. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87C1 (A) e JU-87A (B). -----58
- Figura 70** – Rocha vulcânica – subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com: textura de fluxo magmático dada pela orientação dos cristais de plagioclásio em meio a uma matriz muito fina e estrutura de acamamento dada pela variação de granulação. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87F2. -----59
- Figura 71** – Rocha vulcânica – subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com textura de sobrecrecimento no plagioclásio (interpretada como possível *chessboard albite*). Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87F1. -----59
- Figura 72** – Rocha vulcânica – subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com camadas mostrando variação na granulação. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87A. -----60
- Figura 73** – Rocha vulcânica – subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com aglomerados de minerais máficos, com formas desde subcirculares até angulosas, interpretados como enclave xenolítico da rocha máfica encaixante. Polarizadores paralelos (A) e cruzados (B). Lâmina BIA 73J. -----60
- Figura 74** – Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes com textura de fluxo, dada pela orientação dos cristais de plagioclásio em meio a uma matriz muito fina. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87I. -----61
- Figura 75** – Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes com plagioclásio primário (parte alterada para sericita) com sobrecrecimento de albite (parte límpida). Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-73F.-----61
- Figura 76** – Rocha subvulcânica fina a média da suíte félsica Tiradentes com quartzo intercumulático e plagioclásio orientado por fluxo magmático e intensamente alterado. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-73I. -----62
- Figura 77** – Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes. Destaque para a biotita primária euédrica presente entre os cristais de plagioclásio e quartzo. Polarizadores paralelos (A) e cruzados (B). Lâmina BIA-73J. -----62
- Figura 78** – Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes com embaçamento de fenocristal de plagioclásio por quartzo, feição claramente associada a um processo de corrosão magmática. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87F. -----62
- Figura 79** – Rocha subvulcânica fanerítica fina da suíte félsica Tiradentes. Cristal de plagioclásio levemente sericitizado e epidotizado. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-103. ---63
- Figura 80** – Rocha vulcânica – subvulcânica fina suíte félsica Tiradentes. Cristal de plagioclásio fortemente alterado para muscovita e sericita. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-60. -----63

- Figura 81** – Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes. Biotita parcialmente substituída por muscovita (MUS). Polarizadores paralelos (A) e cruzados (B). Lâmina BIA-66A -----64
- Figura 82** – Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes. Biotita₂ associada a uma massa de cristais de epidoto. Polarizadores paralelos (A) e cruzados (B). Lâmina BIA-73I. -----64
- Figura 83** – Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes com quartzo com extinção ondulante recristalizado. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87A. -----65
- Figura 84** – Aglomerados metamórficos/hidrotermais de epidoto + mica branca. Lâmina BIA-70. -----65
- Figura 85** – Veio de epidoto + clorita (ass.II) cortando aglomerado de biotita₂ + epidoto (ass.I) Biotita₂ é substituída por clorita e mica branca. BIA-101B. -----66
- Figura 86** – Diagrama discriminante $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$ (Le Bas, 1986) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo). -----68
- Figura 87** – Diagrama discriminante An-Ab-Or (O' Connor, 1965) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto), e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo). -----68
- Figura 88** – Diagrama discriminante $\text{A/NK} \times \text{A/CNK}$ (Maniar & Piccoli, 1989) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto), e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo). $\text{A/NK} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ em mol; $\text{A/CNK} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ em mol. -----72
- Figura 89** – Diagrama discriminante $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$ (Irvine & Baragar, 1971) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo). -----72
- Figura 90** – Diagrama discriminante AFM (Irvine & Baragar, 1971) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo). $\text{A} = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; $\text{F} = \text{FeO} + 0,9\text{Fe}_2\text{O}_3$; $\text{M} = \text{MgO}$. -----73
- Figura 91** – Diagrama discriminante $\text{K}_2\text{O} \times \text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO}$ (Barker & Arth, 1976) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo). -----73
- Figura 92** – Diagrama discriminante $\text{SiO}_2 \times \text{Al}_2\text{O}_3$ (Barker, 1979) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo). -----74

- Figura 93** – Diagrama discriminante $Al_2O_3 \times Yb$ (Arth, 1979) para duas rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho). -----74
- Figura 94** – Diagrama discriminante $(Y+Nb) \times Rb$ (Pearce *et al.*, 1984) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo). WPG = granitos intraplaca, VAG = granitos de arco vulcânico, ORG = granitos de cordilheira oceânica.-----75
- Figura 95** – Diagrama dos elementos terras raras normalizado pelo condrito de Boynton (1984) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes. -----75
- Figura 96** – Variação na granulação das rochas das diferentes fácies do gabro Vitoriano Veloso. Na esquerda fácies diabásio e na direita fácies gabro grosso. -----76
- Figura 97** – Amostra de rocha do gabro Vitoriano Veloso mostrando uma forte foliação ígnea primária, marcada pela orientação dos cristais de plagioclásio. Ponto JU-145. -----77
- Figura 98** – Pegmatitização nas rochas do gabro Vitoriano Veloso mostrando o aumento da granulação (A), bem como áreas com a granulação original da rocha (B), demarcadas por pontilhado vermelho. Ponto JU-73E. -----77
- Figura 99** – Variações na granulação do gabro Vitoriano Veloso. Respectivamente, fácies diabásio (lâminas JU-25A), fácies gabro fino/gabro médio (lâmina JU-193), fácies gabro médio (lâmina JU-28) e fácies gabro grosso (lâmina JU-11E). -----78
- Figura 100** – Variações nas porcentagens dos minerais essenciais do gabro Vitoriano Veloso, formando níveis ricos em minerais máficos e em minerais félsicos. **a)** Nos níveis mais máficos, há o predomínio de hornblenda e minerais opacos (com formas intercumuláticas). **b)** Já os níveis mais félsicos são ricos em plagioclásio, contendo hornblenda intercumulática. Lâmina JU-001. -----78
- Figura 101** – Grãos de plagioclásio, hipidiomórficos e orientados (segundo a seta vermelha), formando uma textura de fluxo magmático no gabro Vitoriano Veloso. Lâmina JU-37A.----79
- Figura 102** – Ortopiroxênio (OPX) tipo hiperstênio envolvido por clinopiroxênio (CPX). Destaca-se que a hornblenda (HBL) cresce na borda dos grãos dos dois tipos de piroxênio. Lâmina JU-196. -----79
- Figura 103** – Hornblenda com coloração marrom escura, contendo diversas inclusões em suas clivagens e fraturas de minerais aciculares castanhos e opacos. Lâmina JU-37A. -----80
- Figura 104** – Diabásio (Db) contendo áreas pegmatitizadas (AP) na forma de veios, onde nota-se o crescimento dos grãos de plagioclásio (branco) e hornblenda (marrom). Lâmina JU-73E. -----80
- Figura 105** – Actinolita com cor verde clara, contendo *blebs* de quartzo típica da textura de transformação mineral em que há sobra de sílica. Lâmina JU-25B. -----81

Figura 106 – Actinolita (Act) verde clara no centro de grão de hornblenda (Hbl) verde escura, que é sobrecrecida por ferro actinolita (Fe-Act) com cor verde azulada. Lâmina JU-25B. -----81

Figura 107 – Hornblenda (Hbl) marrom, contendo diminutas inclusões de minerais castanhos e opacos aciculares, conferindo um aspecto manchado à mesma. Presença de ferro-actinolita (Fe-Act) de coloração verde azulada na borda da hornblenda e livre das inclusões. Lâmina JU-73E.-----81

Figura 108 – Hornblenda (Hbl) marrom, contendo diminutas inclusões de minerais castanhos e opacos aciculares, conferindo um aspecto manchado à mesma. Presença de ferro-actinolita (Fe-Act) de coloração verde azulada e livre de inclusões, ocorrendo na forma de veio resultante da percolação de fluidos. Lâmina JU-174D. -----81

Figura 109 – a) Actinolita (Act) verde clara sobrecrecida no centro de hornblenda (Hbl). b) Actinolita (Act) obliterando a geminação contínua da hornblenda (Hbl) apontando que a mesma seria tardia. Lâmina JU-25B.-----82

Figura 110 – Diagrama esquemático mostrando a geração de líquidos tonalíticos – trondhjemíticos com altos e baixos teores de Al_2O_3 , resultado de diferenciação magmática e fusão parcial. Modificado de Barker & Arth (1976 in Barker, 1979). -----86

Figura 111 – Estruturas radiais esferulíticas. (a) Suíte Serrinha, (b) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados.-----86

Figura 112 – Textura equigranular. (a) Suíte Serrinha, Polarizadores paralelos; (b) Suíte félsica Tiradentes, Polarizadores cruzados.-----87

Figura 113 – Textura glomeroporfírica. (a e b) Suíte Serrinha, (c e d) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados.-----87

Figura 114 – Textura granofírica. (a e b) Suíte Serrinha, (c e d) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados. -----88

Figura 115 – Textura de fluxo. (a e b) Suíte Serrinha, (c e d) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados. -----88

Figura 116 – Amígdalas. (a e b) Suíte Serrinha, (c e d) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados.-----89

Figura 117 – Feição de corrosão. (a e b) Suíte Serrinha, (c e d) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados. -----89

Figura 118 – Diagrama discriminante $Na_2O + K_2O$ x SiO_2 (Le Bas, 1986), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes (em azul), da suíte Serrinha (em vermelho), do quartzo – diorito da suíte Serrinha (em verde) e para as rochas da unidade andesítica máfica (círculos pretos). -----90

Figura 119 – Diagrama discriminante AFM (Irvine & Baragar, 1971), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes (em azul), da suíte Serrinha (em vermelho), do quartzo – diorito da suíte Serrinha (em verde) e para as rochas da unidade andesítica máfica (círculos pretos). $A = Na_2O + K_2O$; $F = FeO + 0,9Fe_2O_3$; $M = MgO$ -----90

- Figura 120** – Diagrama discriminante $A/NK \times A/CNK$ (Maniar & Piccoli, 1989), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes (em azul), para as rochas da suíte Serrinha (em vermelho) e para as rochas da unidade andesítica máfica (círculos pretos). $A/NK = Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)$ em mol; $A/CNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ em mol.-----91
- Figura 121** – Diagrama discriminante An-Ab-Or (O' Connor, 1965), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes (em azul) e para as rochas da suíte Serrinha (em vermelho).-----91
- Figura 122** – Diagrama discriminante $Na_2O + K_2O \times SiO_2$ (Irvine & Baragar, 1971), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes (em azul) e para as rochas da suíte Serrinha (em vermelho).----- 92
- Figura 123** – Diagrama discriminante $(Y+Nb) \times Rb$ (Pearce *et al.*, 1984), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes (em azul) e da suíte Serrinha (em vermelho). WPG = granitos intraplaca, VAG = granitos de arco vulcânico, ORG = granitos de cordilheira oceânica. -----92
- Figura 124** – Diagrama dos elementos terras raras normalizado pelo condrito de Boynton (1984). Comparação das rochas da Suíte Serrinha (em vermelho) com as rochas da Suíte félsica Tiradentes (em azul). -----93
- Figura 125** – Diagrama concórdia U-Pb do granodiorito brumado de cima (suíte Serrinha).----
-----94
- Figura 126** – Diagrama concórdia U-Pb do corpo granofírico (suíte Serrinha)-----94
- Figura 127** – Diagrama concórdia para as rochas da suíte félsica Tiradentes -----95

1 – INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

O presente trabalho encontra-se associado às atividades de pesquisa do grupo PETRO-MIN (Grupo de Estudos em Petrologia e Mineralogia) sediado no Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e coordenado pelo professor Ciro Alexandre Ávila em conjunto com o professor Everton Marques Bongioiolo.

A borda meridional do cráton São Francisco apresenta evolução geológica policíclica, em parte associada ao Arqueano quando foram gerados terrenos granito-*greenstone* (complexos metamórficos Bonfim, Campo Belo, Passa Tempo, Belo Horizonte e o supergrupo Rio das Velhas com rochas com idades entre 3,20 e 2,77 Ga), e em parte ao Paleoproterozoico, a partir da formação da bacia Minas (na transição entre o Neoarqueano e o Sideriano), bem como pelo desenvolvimento de arcos magmáticos intra-oceânicos e continentais associados ao cinturão Mineiro (Riaciano e Orosiriano), seguido por bacias estaterianas (São João del Rei e Espinhaço). Além disso, feições associadas a processos de deformação e metamorfismo desenvolvidos durante o Neoproterozoico (marginais ao cráton) podem ser observados nas rochas arqueanas e paleoproterozoicas.

No contexto geológico da porção meridional do cráton São Francisco podem ser encontradas rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas, bem como vulcanoclásticas (com contribuição félsica). Estas ocorrem associadas a sequências metavulcano-sedimentares, as quais apresentam idades de cristalização U/Pb em zircão desde o Arqueano até o Paleoproterozoico. Como representantes dos diferentes pulsos arqueanos destacam-se: os metarriolitos do supergrupo Rio Paraúna com idade de 2.971 ± 16 Ma (Machado *et al.*, 1989); o domo riodacítico intrusivo no *greenstone belt* Piumhi com idades mínimas $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircão de 3.000 Ma e 2.989 Ma (1,5% e 1,8% discordantes, respectivamente; Machado & Schrank, 1989); e as rochas vulcanoclásticas e dacíticas do *greenstone belt* Rio das Velhas com idades variando entre 2.776 ± 9 Ma e 2.751 ± 9 Ma (Noce *et al.*, 2005; Machado *et al.*, 1992a). Estas últimas rochas, no entanto preservam idades de 2.792 ± 11 Ma em núcleos de grãos de zircão herdados.

No domínio geográfico do cinturão Mineiro são raras as citações de rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas (andesitos, dacitos, riodacitos, riolitos e granófiros), estando a primeira citação associada ao trabalho de Guimarães & Paiva (1927), que descreveram rochas granofíricas nas proximidades do córrego Santo Antônio em Tiradentes. Teixeira (1992) cita a presença de estratos riolíticos e depósitos piroclásticos entre as cidades de Nazareno e São João del Rei, correlacionando-as tentativamente ao Arqueano. Porém Ávila *et al.* (1998b, 2010a) reportaram idades paleoproterozoicas para essas mesmas rochas e propuseram que sua

evolução estaria relacionada a um ambiente de arco de ilha intra-oceânico desenvolvido na fase inicial do cinturão Mineiro.

Neste sentido, as ocorrências paleoproterozoicas melhor conhecidas na borda meridional do cráton São Francisco estão representadas pelas rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas da suíte Serrinha na região de São João del Rei (Ávila *et al.*, 2007) com idades entre 2.227 ± 22 e 2.211 ± 22 Ma (Ávila *et al.*, 2010a) e pelas rochas vulcânicas félsicas do supergrupo Espinhaço, com idades variando entre 1.770 e 1.700 Ma (Brito Neves *et al.*, 1979; Dussin *et al.*, 1993; Schobbenhaus *et al.*, 1994; Babinski *et al.*, 1994, 1999).

Neste contexto, a presente monografia reporta os dados de campo, petrográficos e geoquímicos de uma nova ocorrência de rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas que afloram ao sul da serra de São José, região de Tiradentes, estado de Minas Gerais, bem como de rochas andesíticas máficas (ricas em hornblenda) associadas às mesmas.

2 – OBJETIVO E COMO ALCANÇÁ-LO

Esta monografia teve como objetivo a caracterização geológica das rochas subvulcânicas e vulcânicas das unidades de mapeamento designadas de andesito máfico Santo Antônio e suíte félsica Tiradentes. Estas duas unidades afloram nas proximidades da serra de São José, mais precisamente entre as cidades de Tiradentes, Prados e Dores de Campos, envolvendo, ainda, o distrito de Vitoriano Veloso. Para alcançar o objetivo proposto foram realizadas as seguintes etapas:

- 1) Compilação do contato geológico proposto por Ribeiro *et al.* (2003) entre os litótipos das megassequências São João del Rei e Carandaí com as rochas de seu embasamento, que correspondem aos litótipos estudados;
- 2) Integração dos dados relativos ao mapeamento geológico efetuado neste trabalho, com aqueles dos mapas de Mello (2003), Bezerra Filho (2006) e Abreu (2007) envolvendo a porção ao sul do rio das Mortes e a leste da área estudada;
- 3) Mapeamento geológico na escala de 1:25.000 de uma área de aproximadamente 82km², entre as cidades de Tiradentes, Prados e Dores de Campos;
- 4) Individualização em campo dos litótipos das unidades estudadas visando o estabelecimento das relações temporais entre estes;
- 5) Estudo petrográfico das rochas da unidade andesito máfico Santo Antônio e da suíte félsica Tiradentes objetivando estabelecer a evolução dos processos de cristalização magmática, metamorfismo e hidrotermalismo;
- 6) Caracterização geoquímica preliminar das rochas vulcânicas e subvulcânicas das unidades estudadas com o objetivo de estabelecer os tipos de magmas envolvidos, a evolução dos mesmos e o ambiente de cristalização;
- 7) Comparar os dados mineralógicos, petrográficos e geoquímicos das rochas da suíte félsica Tiradentes com aqueles das rochas dos diferentes corpos da suíte Serrinha;
- 8) Fazer a inserção da suíte félsica Tiradentes no contexto evolutivo regional do cinturão Mineiro.

3 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área estudada totaliza cerca de 82km² e está inserida na folha topográfica Tiradentes (IBGE, escala 1:50.000), limitada pelas coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) 586000 a 602000 (N) e 7672000 a 7664000 (E) segundo o *Datum* Córrego Alegre. Esta está inserida na região sudeste do estado de Minas Gerais entre as cidades de Tiradentes, Prados, Dolores de Campos e o distrito de Vitoriano Veloso.

Para acessar a área a partir do Rio de Janeiro, utiliza-se a rodovia BR-040 até a cidade de Barbacena e a seguir a BR-265, antiga MG-265 até a cidade de São João del Rei (**Figura 1**). Nesta rodovia, pode-se seguir tanto em direção a cidade de Dolores de Campos, quanto à cidade de Tiradentes. A partir de Dolores de Campos utiliza-se estrada não pavimentada em direção à cidade de Prados e ao distrito de Vitoriano Veloso. A partir de Tiradentes, utiliza-se a estrada não pavimentada para Vitoriano Veloso e Prados. Outra opção para acessar a área estudada é utilizar a BR-383 (a partir de São João del Rei), entrando na cidade de Prados e seguindo em direção às cidades de Dolores de Campos e Tiradentes.



Figura 1 - Localização da área estudada e principais vias de acesso. B = São João del Rei, C = Prados e D = Vitoriano Veloso (vulgo Bichinho). Fonte: *Google maps* 02/02/2012.

4 – MÉTODOS DE TRABALHO

4.1 – INTRODUÇÃO

Para a realização da presente monografia foram realizadas diversas etapas envolvendo atividades de escritório (pré e pós-campo), de campo e de laboratório. Em termos gerais, foram confeccionadas 242 lâminas delgadas (**Tabela 1**), onde a grande maioria das amostras refere-se a material coletado na presente monografia (siglas JU e MAF), enquanto as demais amostras foram coletadas por outros estudantes (siglas BIA, FG, AN). Destaca-se que os materiais de interesse mineralógico e petrográfico também foram estudados por outras técnicas instrumentais, como difratometria de raios-X (presente monografia) e MEV-EDS por Guerrero (2011) (**Tabela 2**). Neste contexto, foram selecionadas 22 amostras de rochas para análise química para elementos maiores e traços, sendo que cinco destas foram analisadas para elementos terras raras (ETR). As amostras coletadas e as lâminas petrográficas confeccionadas durante o projeto poderão ser aproveitadas em outros estudos a serem desenvolvidos na região, onde uma parte das mesmas já foi utilizada na monografia de Guerrero (2011), relacionada ao corpo gabroico que aflora próximo a vila de Vitoriano Veloso.

Tabela 1 - Lista de lâminas delgadas relacionadas a presente monografia e a de Guerreiro (2011).

JU-10	Rocha ultramáfica	JU-29A	Gabro médio	JU-64C	Gabro fino
JU-11A	Gabro grosso	JU-29B	Gabro médio	JU-64D	Gabro médio
JU-11B	Gabro grosso	JU-30A	Gabro médio e fino	JU-64E*	Gabro fino e médio
JU-11C	Gabro grosso	JU-30B	Gabro médio e fino	JU-66A	Gabro fino
JU-11D	Gabro grosso	JU-30C*	Gabro fino	JU-66B	Gabro médio
JU-11E	Gabro grosso	JU-31A	Gabro médio e fino	JU-67	Gabro fino
JU-11F	Gabro grosso	JU-31B	Gabro médio e fino	JU-68A	Rocha ultramáfica
JU-11G	Gabro grosso	JU-31C	Gabro fino	JU-68B	Rocha ultramáfica
JU-17	Gabro grosso	JU-37A	Gabro médio	JU-69A	Granitoide médio
JU-19	Brecha tonalítica	JU-37B	Gabro médio	JU-69B	Diabásio
JU-25A*	diabásio	JU-41A	Tonalito subv.	JU-69C	Tonalito + diabásio
JU-25B*	Gabro médio	JU-41B	Rocha verde	JU-72A	Gabro médio pra fino
JU-26	Tonalito subv.	JU-41C	Tonalito subv.	JU-72B	Gabro médio
JU-27A	Gabro médio	JU-50	Diabásio	JU-73D*	Gabro fino
JU-27B	Gabro médio	JU-64A	Gabro fino	JU-73E	Gabro fino
JU-28*	Gabro médio	JU-64B	Gabro fino	JU-73F	Gabro fino
JU-72C	Gabro médio-grosso	JU-000	Diabásio	JU-213	Gabro/anfibolito
JU-87A	Vulc./subv. félsica	JU-001	Gabro médio	JU-219A	Rocha com muito quartzo
JU-87B	Xenólito máfico	JU-001X	Gabro médio	JU-221A	Diabásio
JU-87C1	Vulc./subv. félsica	JU-001Y	Gabro médio	JU-221B	Diabásio
JU-87C2	Vulc./subv. félsica	JU-001Z	Gabro médio	JU-225	Diabásio
JU-72D	Gabro médio-grosso	JU-001M**	Gabro médio	JU-227A	Diabásio e diorito
JU-73A	Gabro fino	JU-001N**	Gabro médio	JU-227B	Diabásio
JU-73B	Gabro fino	JU-001Pa**	Gabro médio	JU-230	Diabásio
JU-73C*	Gabro fino	JU-001Ph**	Gabro médio	AM-1B	Diorito
JU-73G	Gabro médio	JU-132	Tonalito subv.	Máf. 33A	Subv. máfica
JU-73H	Gabro médio	JU-139A	Diabásio	Máf. 33B	Subv. máfica

Legenda: subv=subvulcânico; vulc./subv.=vulcânica/subvulcânica; *=incluindo a confecção de lâmina polida e **=somente realização de lâmina polida.

Tabela 1 (continuação) - Lista de lâminas delgadas relacionadas a presente monografia e a de Guerreiro (2011).

JU-73I	Gabro médio	JU-139B	Gabro médio	BIA-1	Subv. máfica
JU-74A*	Tonalito com xenólito	JU-140A	Diabásio	BIA-5	Vulc./subv. félsica
JU-74B	Tonalito subv.	JU-140B	Rocha ultramáfica	BIA-5A	Vulc./subv. félsica
JU-74C	Tonalito subv.	JU-140C	Rocha ultramáfica	BIA-5B	Vulc./subv. félsica
JU-74 B1*	Tonalito subv.	JU-141A	Diabásio	BIA-9	Vulc./subv. félsica
JU-74 B2	Tonalito subv.	JU-141B	Diabásio	BIA-12	Subv. máfica
JU-74 C1	Tonalito subv.	JU-144A	Gabro médio	BIA-14	Vulc./subv. félsica
JU-74 C2	Tonalito subv.	JU-144B	Gabro médio	BIA-14	Vulc./subv. félsica
JU-75A	Diorito	JU-145A	Gabro médio	BIA-16	Subv. máfica
JU-75B	Diorito	JU-146A	Gabro/anfibolito	AM-1A	Diorito
JU-87F (1)	Vulc./subv. félsica	JU-146B	Gabro/anfibolito	BIA-20A	Vulc./subv. félsica
JU-87D	Vulc./subv. félsica	JU-147	Diabásio	BIA-20B	Vulc./subv. félsica
JU-87E	Vulc./subv. félsica	JU-150	Diabásio	BIA-20C	Vulc./subv. félsica
JU-87F (2)	Vulc./subv. félsica	JU-152	Diabásio	BIA-22a	Vulc./subv. félsica
JU-87G (1)	Subv. máfica	JU-153	Gabro médio	BIA-22B	Vulc./subv. félsica
JU-87G (2)	Subv. máfica	JU-157A	Diabásio/anfibolito	BIA-25	Subv. máfica
JU-87G (3)	Subv. máfica	JU-157B	Diabásio/anfibolito	BIA-28A	Vulc./subv. félsica
JU-87H	Vulc./subv. félsica	JU-158	Gnaiss bandado	BIA-28B	Vulc./subv. félsica
JU-87I	Vulc./subv. félsica e subv. máfica	JU-159A	Tonalito subv.	BIA-31A	Tonalito subv.
JU-87Ia	Vulc./subv. félsica	JU-159B	Tonalito subv.	BIA-31B	Subv. máfica / diorito
JU-87Ib	Subv. máfica	JU-166	Epidosito	BIA-31C	Subv. máfica / diorito
JU-87J	Vulc./subv. félsica	JU-172	Diabásio	BIA31-D	Tonalito subvulc.
JU-87K	Veio máfico	JU-174A1	Diabásio	BIA-31E	Vulc./subv. félsica
JU-93A	Vulc./subv. félsica	JU-174A2	Gabro/anfibolito	BIA33	Subv. máfica / diorito
JU-93B	Rocha esverdeada	JU-174B	Diabásio	BIA-33A	Subv. máfica / diorito
JU-93C	Rocha verde e (?)	JU-174C	Diabásio	BIA-33B	Subv. máfica / diorito
JU-94	Rocha verde afanítica	JU-174D	Diabásio	BIA-33L	Subv. máfica / diorito
JU-95A	Rocha ultramáfica	JU-176	Diabásio	BIA-33X	Subv. máfica / diorito
JU-95B	Rocha ultramáfica	JU-177	Diabásio	BIA-33Z	Subv. máfica / diorito
JU-96	Subv. máfica	JU-179A	Gabro médio	BIA-33W	Subv. máfica / diorito
JU-98	Subv. máfica	JU-179B	Gabro médio	BIA-33Y	Subv. máfica / diorito
JU-102A	Subv. máfica	JU-179C	Gabro médio	BIA-37	Vulc./subv. félsica
JU-102B	Vulc./subv. félsica	JU-179D	Gabro médio	BIA-40(2)	Subv. máfica
JU-102C	Vulc./subv. félsica	JU-180A	Diabásio	BIA-40 (3)	Subv. máfica
JU-103	Subv. máfica	JU-180B	Diabásio	BIA-40B	Subv. máfica
JU-105	Vulc./subv. félsica	JU-183	Diabásio	BIA-40E	Subv. máfica
JU-109A	Subv. máfica	JU-188	Gabro médio	BIA-54A	Tonalito subv.
JU-109B	Subv. máfica	JU-191A	Diabásio	BIA-54B	Tonalito subv.
JU-109C	Vulc./subv. félsica	JU-191B	Gabro médio	BIA-54C	Tonalito subv.
JU-109E	Vulc./subv. félsica	JU-193	Gabro médio	BIA-60	Vulc./subv. félsica
JU-109G	Vulc./subv. félsica	JU-196	Diabásio	BIA-60B	Vulc./subv. félsica
JU-110B	Tonalito subv.	JU-197	Diabásio	BIA-66A	Tonalito subv.
JU-110C	Tonalito subv.	JU-201A	Diabásio	BIA-66Y	Tonalito subv.
JU-114	Tonalito subv.	JU-201B	Diabásio e gabro	BIA-69C	Vulc./subv. félsica
JU-116D	Subv. máfica	JU-205	Diabásio	BIA-69D	Vulc./subv. félsica
JU-129	Tonalito subv.	JU-206A	Diabásio	BIA-69E	Vulc./subv. félsica
BIA-70	Vulc./subv. félsica	BIA-73I	Vulc./subv. félsica	BIA-101C	Tonalito subv.
BIA-71A	Vulc./subv. félsica	BIA-73J	Vulc./subv. félsica	BIA-101D	Tonalito subv.
BIA-71B	Vulc./subv. félsica	BIA-77	Diorito	BIA-101E	Tonalito subv.
BIA-73	Vulc./subv. félsica	BIA-87A	Rocha ultramáfica	AN-1D	Quartzodiorito
BIA-73C	Vulc./subv. félsica	BIA-87B	Rocha ultramáfica	MA-51A	Gabro/anfibolito
BIA-73F	Vulc./subv. félsica	BIA-101B	Tonalito subv.	FG-18	Gabro médio
BIA-73H	Vulc./subv. félsica				

Legenda: subv=subvulcânica; vulc./subv.=vulcânica/subvulcânica; *=incluindo a confecção de lâmina polida e **=somente realização de lâmina polida.

Tabela 2 - Listagem de amostras estudadas por MEV-EDS por Guerrero (2011) e que fazem parte da área mapeada.

JU-97A	MEV de veio sulfetado
JU-97B	MEV de veio sulfetado (amostras: JU-97B e JU-97B1)
JU-109E	MEV de veio sulfetado (amostras: JU-109E1 e JU-109-E2)

4.2 – ETAPA PRÉ-CAMPO

A primeira etapa desenvolvida anteriormente a realização dos trabalhos de campo (pré-campo) consistiu na ampliação da escala do mapa topográfico do IBGE (Folha Tiradentes) de 1:50.000 para 1:25.000, visando facilitar o mapeamento geológico, pois as rochas presentes na região estudada afloravam, muitas vezes, em corpos de reduzidas dimensões.

4.3 – ETAPAS DE CAMPO

4.3.1 – Mapeamento geológico

Foi confeccionado um mapa geológico (**Anexo I – Mapa geológico**) na escala de semidetalhe (1:25.000) a partir de 3 campanhas, que totalizaram 20 dias de campo. A primeira foi realizada entre os dias 13 e 17 de fevereiro de 2009, a segunda entre os dias 17 e 23 de maio de 2010 e a terceira entre os dias 10 a 17 de fevereiro de 2011. A área mapeada totalizou cerca de 85km² e foram realizados 230 pontos geológicos (**Anexo II – Mapa de pontos**), os quais foram plotados na folha topográfica Tiradentes (IBGE – 1:50.000), a partir do uso de um GPS *Garmin Etrex*, utilizando-se o *datum* Córrego Alegre, sendo a localização conferida e confirmada a partir das feições topográficas.

A descrição dos pontos foi realizada em campo, a partir da observação do tipo de afloramento/ocorrência (lajedo, corte de estrada, saprólito, blocos *in situ*), do grau de intemperismo (rocha fresca, alterada ou solo), das feições em escala de afloramento (corpo concordante, discordante, xenólitos, veios e pegmatitos) e de feições passíveis de serem identificadas em amostra como a mineralogia, textura, estruturas primárias e secundárias. A metodologia de mapeamento baseou-se na delimitação dos contatos a partir do acompanhamento dos mesmos, por estes envolverem, principalmente, rochas metaígneas. Nos casos em que foram observadas estruturas secundárias como foliação ou xistosidades realizou-se a medição em *dip-dip* a partir do uso de bússola Eclipse Pro 8099 da Brunton® com declinação de 19° W.

As principais dificuldades identificadas durante a fase de mapeamento geológico estiveram relacionadas à:

- 1) Densa cobertura vegetal próxima a serra de São José;

- 2) Presença de uma camada de solo que impossibilitou a observação de pequenos blocos de rocha das unidades que estariam aflorando;
- 3) Presença de muitos blocos e matacões de quartzito da Serra de São José (depósitos de *talus*) que cobrem as rochas estudadas;
- 4) Raridade de se encontrar afloramentos ou blocos *in situ* na área estudada;
- 5) Elevado grau de alteração intempérica das rochas com raros afloramentos frescos, principalmente nas rochas da unidade andesítica máfica Santo Antônio;
- 6) Grande variação na granulação das rochas encontradas, que poderiam ser associadas a corpos distintos ou pertencerem a único corpo.

4.3.2 – Coleta e preparação de amostras de rochas

A ampla distribuição de cobertura vegetal e colúvio, assim como o elevado grau de alteração intempérica, implicaram na escassez de afloramentos na região. Por esses motivos foi difícil de obter rochas frescas, que não apresentassem vestígios de alteração intempérica.

No processo de seleção de amostras para serem laminadas foram excluídas apenas, as rochas muito intemperizadas, o que ocasionou no elevado número de lâminas (Tabela 1). A amostragem levou em consideração a representatividade do fragmento coletado e alguns aspectos de interesse, como no caso dos corpos félsicos a variação de granulação (de muito fina a média), bem como a presença de enclaves.

4.4 – ETAPAS DE LABORATÓRIO

4.4.1 - Petrografia

As amostras coletadas em campo foram lavadas, identificadas, numeradas e enviadas para o Laboratório de Laminação do Museu Nacional (LLMN). Foram selecionadas áreas para corte relacionadas à orientação dos minerais (feições primárias ou secundárias) ou áreas de contato entre corpos ígneos e enclaves.

As descrições petrográficas foram realizadas em microscópio petrográfico *Carl Zeiss® Axioskop 40*, identificando-se a mineralogia essencial, acessória e secundária, bem como texturas e estruturas de interesse. É importante destacar que as rochas da área estudada sofreram transformações metamórficas (crescimento da paragênese anfibólio + epidoto + titanita) e hidrotermais (sericitização e cloritização), onde o crescimento de uma paragênese secundária normalmente dificulta a identificação de minerais e de texturas primárias.

4.4.2 – Preparação de rochas para análise geoquímica

A seleção das amostras a serem analisadas quimicamente levou em conta, primeiramente, o grau de intemperismo da amostra em lâmina petrográfica. Após a escolha das amostras a serem preparadas, definiu-se também a área de corte para a confecção do briquete (priorizando-se áreas centrais), evitando-se assim porções alteradas, veios, contatos entre diferentes litótipos e xenólitos.

As amostras foram cortadas em briquetes no Laboratório de Laminação do Museu Nacional (LLMN). Posteriormente foram quebradas com martelo até alcançar fragmentos entre 1 e 4 cm, tornando-os adequados para a cominuição em um pequeno britador de mandíbulas do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) ou do Instituto de Geociências da USP. Por último, o material foi processado em um moinho de panela de ágata por 3 minutos ou de carbeto de tungstênio até atingir uma granulometria inferior a 200 *mesh*, considerada como adequada para a análise química.

4.4.3 – Análise química

A seleção das amostras a serem analisadas quimicamente (Tabela 3) envolveu critérios petrográficos, evitando-se analisar amostras com alteração intempérica e hidrotermal. As análises químicas foram realizadas principalmente no Laboratório de Fluorescência de Raios-X da Universidade de São Paulo (USP), a partir do uso de um espectrômetro de fluorescência de raios-X Phillips modelo PW 2400 com tubo de Rh. Algumas amostras também foram analisadas no Laboratório de Fluorescência de Raios-X da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). As rochas vulcânicas e subvulcânicas do andesito máfico Santo Antônio apresentaram grande dificuldade de serem selecionadas, pois as mesmas possuíam uma grande quantidade de veios de epidoto e de carbonato. Neste sentido somente foram analisadas duas amostras desta unidade.

A perda ao fogo foi determinada nos dois laboratórios através da comparação do peso da amostra antes e depois da mesma ser aquecida por 30 minutos a 950°C. Os elementos leves foram aferidos com as seguintes condições: detector de fluxo, cristal analisador PET/Ge e potência do tubo de 40kV – 70mA. Os elementos pesados foram analisados com detector selado, cristais analisadores LIF200/LIF200 e potência do tubo de 50kV – 50mA. Com base em análises padrões, o erro analítico relativo estimado de cada elemento foi: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K e P (cerca de 2%) e elementos traços (5 a 10%).

A preparação das amostras para análise dos elementos maiores por espectroscopia de fluorescência de raios-X envolveu a fusão de 1g de material pulverizado (< 200 *mesh*) com cinco 5g de tetraborato de lítio para formar uma pastilha de vidro. Os elementos traços foram

analisados por espectroscopia de fluorescência de raios-X em pastilha prensada, a partir do uso de 7g do pó da amostra, que foi prensado com 1g de aglutinante *wax*. As condições analíticas incluíram: voltagem de aceleração entre 22 kV (para Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si) e 40 kV (para Mn, Ti); intensidade do feixe de raios-X de 50 mA; tempo médio de contagem entre 30 segundos (para Al, Ca, Fe, K, Si) e 60 segundos (para Mg, Na, P); e correções de matriz *Alpha*.

Tabela 3 - Listagem de amostras enviadas para análise geoquímica. Legenda: vulc./subv. = vulcânica/subvulcânica; * = incluindo análise de elementos terras raras e; ** = corpo subvulcânico tonalítico, situado a sul do Rio das Mortes.

JU-74 A	Tonalito subvulcânico.	JU-129	Tonalito subvulcânico.
JU-74 B1	Tonalito subvulcânico	AN-01 D**	Tonalito subvulcânico.
JU-87 C1	Tonalito subvulcânico.	AN-115 A**	Tonalito subvulcânico.
JU-87 F (1)*	Vulc./subv. félsica afanítica	AN-116 A**	Tonalito subvulcânico.
JU-87 F (2)	Vulc./subv. félsica afanítica	BIA-31 D	Vulc./subv. félsica afanítica
JU-87 H	Vulc./subv. félsica afanítica	BIA-31 E	Vulc./subv. félsica afanítica
JU-87 Ia*	Vulc./subv. félsica afanítica	BIA-40 A	Vulc./subv. félsica afanítica
JU-87 J	Vulc./subv. félsica afanítica	BIA-60	Vulc./subv. félsica afanítica
JU-109 E	Vulc./subv. félsica afanítica	BIA-60 B	Vulc./subv. félsica afanítica
JU-110 B	Tonalito subvulcânico.	BIA-16 B	Vulc./subv. máfica
JU-110 C	Tonalito subvulcânico.	BIA-54 C	Vulc./subv. máfica

4.5 – ETAPA DE ESCRITÓRIO

A etapa de escritório pós-campo está relacionada ao tratamento dos dados obtidos a partir das análises geoquímicas de rocha total, através dos programas MINPET v.2.02 e GCDkit 2.3, bem como consistiu na edição das figuras utilizadas nesta monografia e na elaboração final do mapa geológico e do mapa de pontos através do *software Corel Draw X4*. A última fase consistiu na confecção deste trabalho, onde as referências bibliográficas foram realizadas segundo as normas da Revista Brasileira de Geociências, volume 40, número 1, de março de 2010.

5 - NOMENCLATURA ADOTADA PARA OS LITÓTIPOS

Para a compreensão de um trabalho científico, é necessário especificar a terminologia usada na confecção do texto, já que nem sempre existe um consenso geral de uso da mesma. Assim sendo, esse capítulo lista os termos utilizados com o objetivo de explicar os métodos e as classificações usadas, facilitando assim a leitura e o entendimento da monografia.

A denominação empregada para as unidades litoestratigráficas mapeadas, principalmente as ígneas e metaígneas, baseou-se no Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (Petri *et al.*, 1986), onde normalmente o primeiro ou o segundo nome refere-se ao tipo de rocha classificada em lâmina petrográfica ou no campo, enquanto o último nome trata da localidade tipo ou ponto geográfico das redondezas do corpo a ser denominado. Neste contexto, a unidade metaperidotito - metagabro Estação de Prados, representa um corpo onde suas rochas variam composicionalmente de metaperidotitos a metagabros, as quais afloram nas proximidades da antiga estação ferroviária de Prados (Silva, 2012). Já o *greenstone belt* Dorés de Campos é representado por rochas metavulcânicas metaultramáficas (serpentinóis e clorita xisto) e metamáficas (anfíbolitos), que ocorrem intercaladas com delgados níveis metassedimentares e que afloram nos arredores da cidade de Dorés de Campos (Silva, 2012).

O metandesito máfico Santo Antônio é uma unidade constituída por rochas andesíticas com índice de cor entre 30 e 60, sendo o seu afloramento mais significativo em uma cachoeira no córrego Santo Antônio. O gabro Vitoriano Veloso é representado por uma grande variedade de gabros – diabásios, que afloram desde a vila de Vitoriano Veloso até a proximidade da cidade de Prados. Destaca-se que a denominação deste corpo foi proposta por Ebert (1963) e mantida por Guerrero (2011). A suíte félsica Tiradentes é composta por um conjunto de rochas metavulcânicas e subvulcânicas félsicas associadas espacialmente e que são encontradas na região de entorno da cidade de Tiradentes. A sequência metavulcânica – metassedimentar Estação de Tiradentes corresponde a intercalação de vulcânicas máficas - félsicas com filitos, filitos carbonosos, quartzitos ferruginosos e metadiamicititos, que afloram ao lado da estação ferroviária de Tiradentes e, principalmente, em voçorocas dentro da cidade homônima.

A nomenclatura adotada para as rochas vulcânicas e subvulcânicas estudadas foi baseada no diagrama geoquímico TAS (Figura 2) de Le Bas *et al.* (1986), usado segundo as sugestões da IUGS para a classificação de rochas nas quais não é possível a execução da contagem modal dos constituintes (Le Maître, 2003). Já a nomenclatura para as rochas ígneas plutônicas félsicas (granitóides) e máficas (dioritos e gabros) baseou-se no diagrama modal QAP (Figura 3). Para as rochas vulcânicas e subvulcânicas porfiríticas, utilizou-se, além do diagrama TAS, a classificação baseada nos fenocristais (Le Maître, 2003), onde:

- 1) Riolito: Termo coletivo para rochas vulcânicas silicosas que consistem em fenocristais de quartzo e álcali feldspato (frequentemente com quantidades menores de plagioclásio e biotita), imersos em matriz microcristalina ou vítrea com composição química de um granito.
- 2) Andesito: Rocha intermediária, normalmente porfírica, que consiste em plagioclásio (frequentemente zonado e variando de labradorita a oligoclásio), piroxênio, hornblenda e/ou biotita.
- 3) Riodacito: Termo utilizado para rochas vulcânicas intermediárias entre riolito e dacito, normalmente consistindo de fenocristais de quartzo, plagioclásio e poucos minerais ferromagnesianos imersos em uma matriz microcristalina.
- 4) Dacito: Rocha vulcânica composta por quartzo e plagioclásio sódico, com menores quantidades de biotita e/ou hornblenda e/ou piroxênio. Equivalente vulcânica de granodiorito e tonalito.

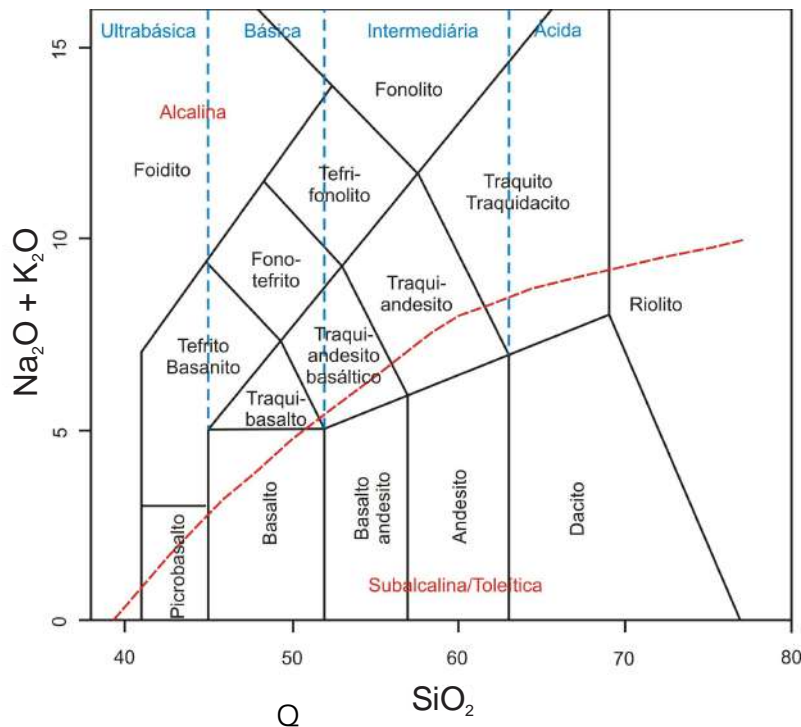


Figura 2 – Diagrama TAS (*Total Alkalies versus Silica*) para classificação geoquímica de rochas vulcânicas (Le Bas *et al.*, 1986).

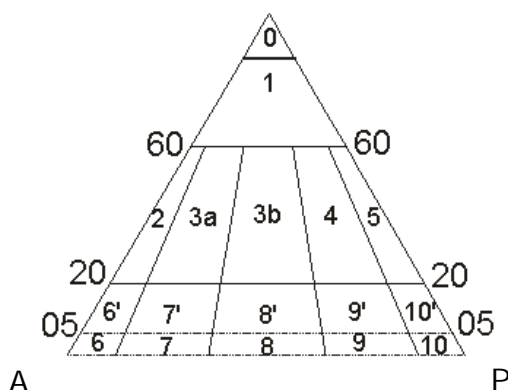


Figura 3 – Diagrama QAP (Streckeisen, 1976) para classificação de rochas plutônicas com Índice de cor inferior a 90%. 0- Quartzolito; 1- Granitoide rico em quartzo; 2- Álcali-feldspato granito; 3a- Sienogranito; 3b- Monzogranito; 4- Granodiorito; 5- Tonalito; 6'- Quartzó álcali-feldspato granito; 7'- Quartzó sienito; 8'- Quartzó monzonito; 9'- Quartzó monzodiorito/Quartzó monzogabro; 10'- Quartzó diorito/ Quartzó gabro/ Quartzó anortosito; 6- Álcali-feldspato granito; 7- Sienito; 8- Monzonito; 9- Monzodiorito/ Monzogabro; 10- Diorito/ Gabro/ Anortosito.

Adotou-se a seguinte proposta em relação à fase em que os minerais foram formados: minerais primários seriam aqueles gerados durante a solidificação do magma, enquanto os minerais secundários, derivariam de regimes posteriores à cristalização magmática, como o metamorfismo, hidrotermalismo e o intemperismo. Segundo Dourado (1989), os minerais primários ainda podem ser divididos em essenciais (cuja ocorrência é fundamental para dar nome a rocha ou simplesmente, quando seu volume é maior que 5%) e acessórios (volumes inferiores a 5%). Porém, segundo Gill (2010) mineral essencial é o que fornece o nome à rocha, enquanto mineral varietal é aquele que não é necessário no nome da rocha, mas que está presente na mesma.

O conjunto de processos pelos quais uma determinada rocha é transformada (no estado sólido) em outra rocha com características distintas das originais, resultantes de um aumento de temperatura (>250 °C até a curva da anatexia) e pressão, define o metamorfismo. Eskola (1915 *in* Yardley, 2004) formulou um esquema de fácies metamórficas, que representa amplas subdivisões de P-T em que se enquadra a maioria das rochas metamórficas, independentemente do seu protólito. As subdivisões e os campos das respectivas fácies metamórficas são apresentados no diagrama abaixo (Figura 4), na cor azul. Com relação ao metamorfismo de rochas máficas, observa-se, em vermelho na mesma figura, os campos de estabilidade das fases minerais.

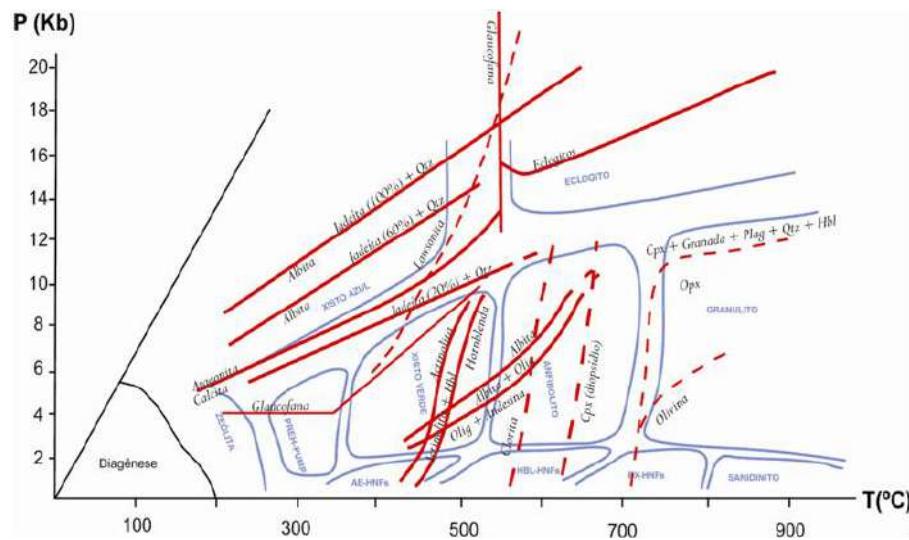


Figura 4 - Diagrama P-T (Pressão-Temperatura) mostrando os campos das várias fácies metamórficas (em azul) e os campos de estabilidade das correspondentes fases minerais (em vermelho). Abreviações utilizadas: HNFs = hornfels; AE = albita-epidoto; HBL = hornblenda; PX = piroxênio; PREH-PUMP = prehnita-pumpellyita; Olig = oligoclásio; Plag = plagioclásio; Qtz = quartzo (Eskola 1915 *in* Yardley, 2004).

No presente texto, definiu-se que a alteração hidrotermal inclui processos complexos de mudanças texturais, mineralógicas e/ou químicas a partir da interação de rochas pré-existent com soluções mais quentes (> 5°C), que as do meio que passam (Inoue, 1985 *in*

Bongiolo, 2005). Os produtos de soluções hidrotermais podem receber designações específicas como epidotização, cloritização, sericitização e caulinização. Por último, o intemperismo é resultado das transformações que as rochas da crosta sofrem na interação com a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera (Teixeira *et al.*, 2000).

As propostas de Willian *et al.* (1970) foram adotadas para a granulação de rochas ígneas (Tabela 4), para o grau de cristalização e para o grau de desenvolvimento de faces nos cristais. Quanto ao grau de cristalização, Williams *et al.* (1970) subdivide as rochas em: holocristalina, quando esta é composta somente por cristais; holohialinas, quando apresentam apenas vidro; e hipocristalinas, para aquelas que contém tanto vidro como cristais. Em relação ao grau de desenvolvimento dos cristais, estes autores diferenciam os grãos em: idiomórficos, quando os grãos possuem faces cristalinas bem desenvolvidas; hipidiomórficos, quando os grãos têm faces cristalinas parcialmente desenvolvidas; e xenomórficos, quando os grãos não apresentam faces cristalinas.

Tabela 4 – Classificação da granulação da rocha fanerítica, baseada no tamanho dos cristais (Williams *et al.*, 1954).

Granulação	Tamanho dos cristais
Muito grossa	> 3cm
Grossa	5 mm a 3 cm
Média	1 a 5 mm
Fina	< 1 mm

A petrotrama da rocha corresponde à associação da granulação com o grau de desenvolvimento dos grãos, sendo classificada como:

- 1) Afanítica: não possui minerais reconhecíveis a olho nu ou com o auxílio de uma lupa de 10x.
- 2) Fanerítica: seus minerais são visíveis a olho nu ou com auxílio de uma lupa de 10x. Pode ser subdividida em cinco subconjuntos distintos (Figura 5 - Dorado, 1989):
 - Equigranular: apresenta minerais de tamanhos muito semelhante;
 - Inequigranular unimodal: apresenta vários tamanho de grãos representativos;
 - Inequigranular seriada: apresenta uma gradação no tamanho de seus cristais;
 - Inequigranular bimodal: apresenta dois tamanhos dos grãos representativos;
 - Inequigranular porfirítica: apresenta fenocristais imersos em uma matriz mais fina;

O índice de cor das rochas ígneas é definido como sendo a soma dos minerais máficos, opacos e alguns acessórios (zircão, apatita, titanita, epidoto, allanita, granadas, carbonatos primários, dentre outros), não incluindo os minerais secundários. Para classificar as rochas ígneas de acordo com tal índice (Tabela 5), utilizou-se a proposta de Le Maitre *et al.* (2002).

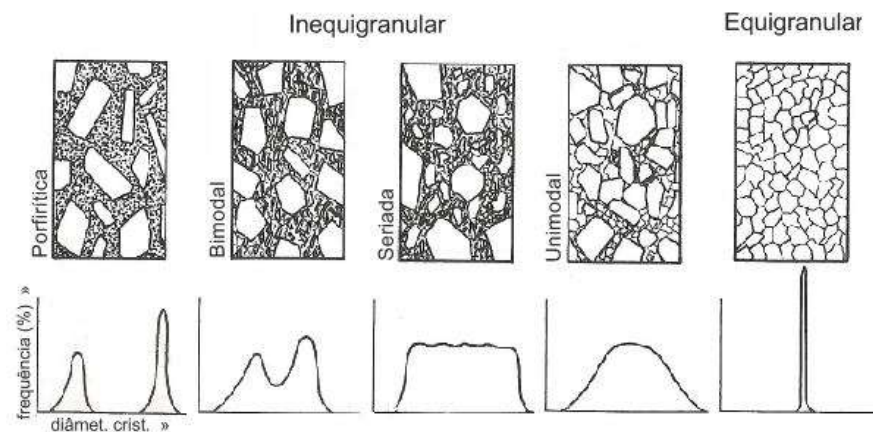


Figura 5 - Esquema representando cinco casos distintos da relação entre o tamanho de grão em rochas ígneas cristalinas (Dorado, 1989).

Tabela 5 - Índice de cor segundo o teor de minerais máficos (Le Maitre *et al.*, 2002).

Índice de cor	Teor de minerais máficos
Hololeucocrática	0-10%
Leucocrática	10-35%
Mesocrática	35-65%
Melanocrática	65-90%
Holomelanocrática	90-100%

Foram utilizados, ainda, conceitos de Williams (1954) para designar alguns padrões texturais como:

- Textura poiquilítica – definida por cristais de tamanho grande que apresentam numerosas inclusões de outros cristais com tamanho menor;
- Textura gráfica e mirmequítica – intercrescimento de quartzo vermiforme e álcali-feldspato, seja através da cristalização simultânea a partir do ponto eutético, seja através da substituição de um mineral pelo outro. Quando a textura é visível a olho nu, é chamada de gráfica. No caso do feldspato em questão corresponder a um plagioclásio sódico, a textura recebe o nome de mirmequítica. Ambas são tipos especiais de texturas simplectíticas;
- Textura granofírica – intercrescimento de quartzo vermiforme e álcali-feldspato através da cristalização rápida e simultânea no ponto eutético;
- Textura esferulítica – agregados radiados de minerais aciculares e fibrosos, em geral feldspatos, oriundos da desvitrificação do magma. Característica de rochas ácidas;

- e) Textura glomeroporfirítica – ocorre em rochas afaníticas porfiríticas, onde os fenocristais ocorrem aglomerados em grupos distintos;
- f) Textura vesicular – forma-se quando os gases exsolvidos nas lavas formam vesículas e quando o material resfria, cavidades. As cavidades podem ser preenchidas subsequentemente com minerais deutéricos ou secundários, formando amídalas;
- g) Textura cumulática – ocorre em rochas plutônicas com evidências texturais de diferenciação por gravidade ou por fluxo ígneo. A situação de partida é a que existe um líquido intersticial entre os cristais acumulados no fundo da câmara magmática;
- h) Textura lepidoblástica – definida por minerais laminares (filossilicatos) intercrescidos homogeneamente e orientados segundo os planos basais (001) mais ou menos paralelos entre si;
- i) Textura nematoblástica – definida por minerais aciculares (inossilicatos) intercrescidos homogeneamente com seus eixos maiores paralelos entre si;

Também foram identificadas em campo, algumas rochas metamórficas cuja classificação textural segue a proposição de Yardley (2004):

- a) Anfibolitito – corresponde a uma rocha ultramáfica formada quase que exclusivamente por piroxênio e/ou anfibólio (hornblenda), onde estes minerais foram substituídos por hornblenda metamórfica ou tremolita - actinolita;
- b) Anfibolito – rocha metamórfica essencialmente bimineralica, constituída de hornblenda e plagioclásio, onde os prismas de hornblenda alojam-se ao longo dos planos de orientação da rocha.
- c) Gnaiss – rocha metamórfica grossa, com estrutura planar (foliação) ou bandamento composicional;
- d) Filito – rocha metamórfica com clivagem pronunciada e composta principalmente por filossilicatos, às vezes discerníveis na amostra de mão e que dão uma aparência sedosa às superfícies de clivagem;

Em geral, o termo foliação é usado de forma genérica para descrever feições planares que se reproduzem de forma penetrativa no meio rochoso. A foliação metamórfica pode ser definida pela orientação preferencial de minerais metamórficos, enquanto a foliação ígnea é definida pela orientação de minerais primários, como é o caso de grãos de plagioclásio por fluxo magmático.

O termo xenólito é utilizado neste trabalho para descrever diversos tipos de fragmentos litológicos oriundos de rochas encaixantes encontrados dentro de outras rochas ígneas (Didier & Barbarin, 1991).

6 - COMENTÁRIOS DOS TRABALHOS PRÉVIOS

A borda meridional do cráton São Francisco tem sido tema para diversos trabalhos e teses. Como muitos pesquisadores trabalharam na região, constata-se a divergências entre as idéias propostas para a evolução desta região, que serão tratadas neste capítulo.

Os trabalhos de maior relevância da área estudada foram os de Ebert (1957, 1963), Noce *et al.* (1987) e Ribeiro *et al.* (2003). É importante destacar que os trabalhos publicados por estes autores utilizam os termos “Formação Barbacena”, “Grupo Barbacena” ou “*greenstone belt* Barbacena” para designarem as rochas metaultramáficas e metamáficas vulcânicas ou subvulcânicas que ocorrem associadas entre si e com rochas metassedimentares, as quais foram consideradas por estes como Arqueanas.

Ebert (1957) definiu que a lapa das rochas metassedimentares de baixo grau metamórfico aflorantes na região de Carandaí era constituída por gnaisses de elevada cristalinidade e com grande diversidade litológica, considerando-os como migmatitos. Propôs que o protólito desse conjunto corresponderia a um pacote de rochas metassedimentares intercaladas com bancos de diabásio (soleiras) e prolongou as mesmas até a base da serra de São José. Este mesmo autor identificou, ainda, rochas de uma sequência vulcano - sedimentar, correlacionando as mesmas a “Formação Barbacena” (Figura 6). Segundo Ebert (1957), rochas graníticas - migmatíticas que ocorrem na mesma área foram consideradas mais jovens que a “Formação Barbacena” e teriam sido formadas a partir destas por um possível processo de migmatitização e granitização.

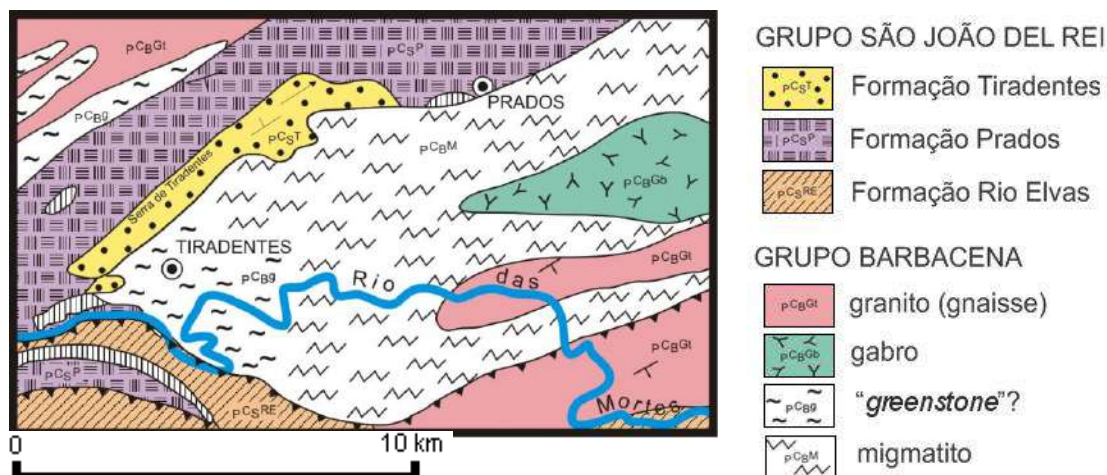


Figura 6 - Mapa geológico editado de Ebert (1957) referente à região entre as cidades de Tiradentes e Prados.

Abaixo estão listados os pontos não concordantes da presente monografia com aqueles propostos por Ebert (1957):

- i) Parte da unidade migmatítica de Ebert (1957), localizada entre o rio das Mortes e a serra de São José, corresponde à interação entre as rochas máficas da unidade andesítica Santo Antônio e rochas félsicas da suíte Tiradentes;
- ii) Parte do que Ebert (1957) chamou de unidade migmatítica (o que aflora ao norte e a sul do gabro Vitoriano Veloso) corresponde, na realidade, a rochas metabásicas interpretadas como associadas geneticamente ao gabro Vitoriano Veloso. Assim a área onde o gabro ocorre é bem maior do que aquela proposta pelo autor;
- iii) A região que Ebert (1957) definiu como *greenstone*, compreende, em grande parte, uma sequência metassedimentar composta por filitos, filitos carbonosos e diamictitos com fragmentos das rochas vulcânicas e/ou subvulcânicas félsicas. De acordo com a proposta de Ávila *et al.* (2011) esta unidade corresponderia aos depósitos molássicos associados ao desenvolvimento de um arco magmático intra-oceânico na região;
- iv) Parte da unidade migmatítica de Ebert (1957), localizada ao sul do rio das Mortes, corresponde a afloramentos do granito Gentio.

Ebert (1963) usou a denominação “Formação Barbacena” para designar uma faixa que compreenderia rochas metaultramáficas e metamáficas. Nesta monografia optou-se pela denominação *greenstone belt* Dores de Campos para nomear a sequência de rochas vulcânicas metamáficas e metaultramáficas com delgados pacotes de rocha metassedimentar intercalados, representados por formações manganêsíferas e quartzitos.

Noce (1987) correlacionou ao “Grupo Barbacena” os metabasitos com estruturas xistosas e não xistosas, bem como as ocorrências isoladas de rochas metaultramáficas e metassedimentares aflorantes no trecho entre as cidades de Tiradentes e Dores de Campos. Este autor teceu ainda as seguintes considerações: o metagabro Vitoriano Veloso faria parte do “Grupo Barbacena” (Figura 7); afloraria ao sul deste gabro uma unidade composta de gnaisses “bandados” e migmatitos; e caracterizou a presença em voçorocas dentro da cidade de Tiradentes de um conglomerado com seixos estirados de rocha granitóide.

Abaixo serão pontuadas as principais divergências dos resultados obtidos na presente monografia em relação ao trabalho de Noce (1987):

- i) Parte do que Noce (1987) designou de xistos verdes do “Grupo Barbacena” (entre a cidade de Tiradentes e a serra de São José) corresponde, na realidade, à interação das rochas do andesito máfico Santo Antônio com as rochas vulcânicas e subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes;

- ii) A rocha designada por Noce (1987) como um conglomerado apresentando seixos estirados de rocha granitóide, corresponde, na realidade, a um diamictito com seixos de rochas vulcânicas e subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes;
- iii) Parte do que Noce (1987) chamou de gabro Vitoriano Veloso (porção que aflora ao sul do Rio das Mortes, perto da antiga estação ferroviária de Prados), foi aqui denominado de quartzodiorito Dores de Campos de acordo com a proposta de Ribeiro *et al.* (2003);
- iv) Os migmatitos e gnaisses bandados descritos por Noce (1987) e que ocorrem próximo a antiga estação ferroviária de Prados, correspondem no presente trabalho aos litótipos do ortogneisse tonalítico Brejo Alegre e do granito Gentio propostos por Silva (2012);
- v) Noce (1987) reuniu no “Grupo Barbacena” as rochas metaultramáficas plutônicas, que foram aqui separadas e designadas de metaperidotito - metagabro Estação de Prados.



Figura 7 - Mapa geológico editado de Noce (1987) referente à região entre as cidades de Tiradentes, Prados e Dores de Campos.

Com relação com o trabalho de Ribeiro *et al.* (2003), as principais contribuições apresentadas nesta monografia são: modificação da forma do gabro Vitoriano Veloso e a subdivisão da unidade designada por estes de metafelsitos, metabasitos e rochas metassedimentares em três unidades diferentes: andesito máfico Santo Antônio; suíte félsica Tiradentes; e sequência metavulcânica – metassedimentar Estação de Tiradentes.

7 - GEOLOGIA REGIONAL

7.1 – INTRODUÇÃO

O continente sul-americano é constituído por três domínios tectônicos: Plataforma Sul-Americana; Plataforma Patagônica; e Faixa de Dobramentos Andina (Almeida *et al.*, 1977). A Plataforma Sul-Americana, por sua vez, é representada em parte pelos crátons Amazônico, São Francisco, Rio La Plata, São Luiz e Luiz Alves, bem como por outros fragmentos cratônicos menores (Figura 8). Segundo Almeida *et al.* (1977), o substrato do cráton do São Francisco adquiriu estabilidade ao final do Evento Transamazônico, sendo seu embasamento constituído por rochas com idades superiores a 1,8 Ga.

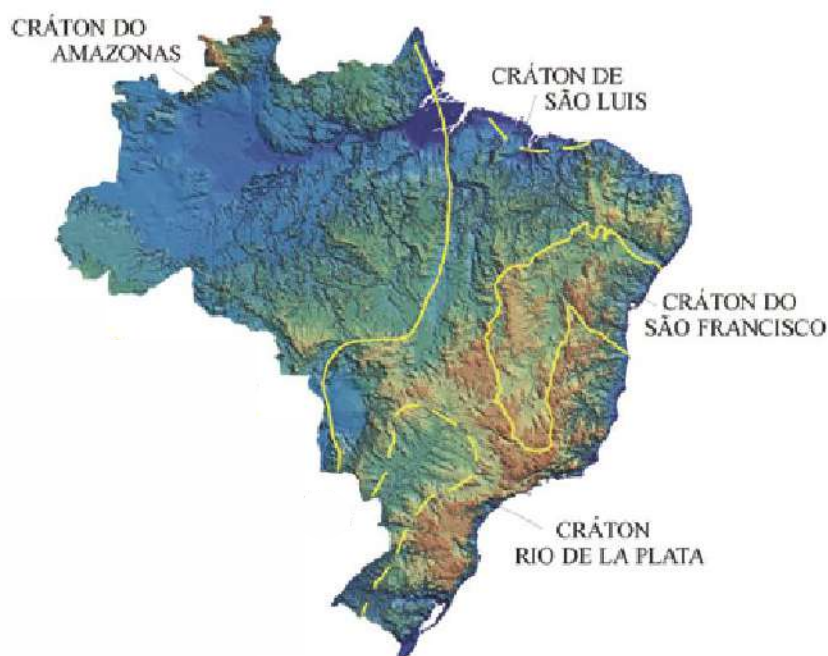


Figura 8 - Distribuição geográfica dos principais crátons brasileiros e expressão de relevo (Compilada de Alkmim, 2004).

A área estudada localiza-se no extremo meridional do cráton do São Francisco e está relacionada com a evolução do cinturão Mineiro, que corresponde a um arco magmático paleoproterozoico (Figura 9). Neste sentido, Teixeira (1982) identificou entre as cidades de Barbacena, Belo Horizonte e Campo Belo (borda meridional do cráton São Francisco) dois segmentos crustais com idades Rb-Sr e K-Ar distintas, caracterizando que um destes teria se formado no Arqueano e o outro no Paleoproterozoico.

Neste capítulo serão abordados os aspectos geológicos da borda meridional do cráton São Francisco com ênfase na evolução paleoproterozoica das rochas vulcânicas e subvulcânicas da região de Tiradentes e arredores.

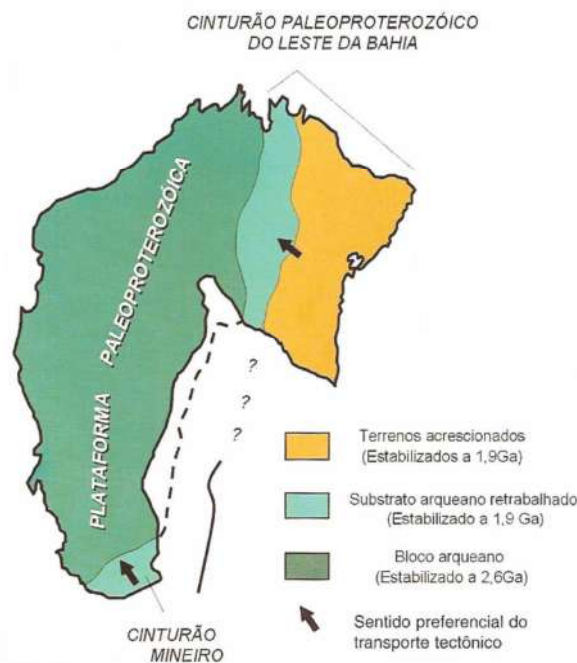


Figura 9 - Cráton São Francisco e o cinturão Mineiro na sua borda meridional (Compilado de Alkmin, 2004).

7.2 – CRÁTON SÃO FRANCISCO

O cráton São Francisco estende-se desde o litoral do estado da Bahia (passando pela sua porção central) até a região sul do estado de Minas Gerais. Esse possui uma contraparte africana e juntos constituíram uma única peça (cráton São Francisco – Congo) até a abertura do Atlântico Sul no Cretáceo (**Figura 10**).

O cráton São Francisco é circundado por faixas móveis neoproterozoicas originadas durante o evento termo-tectônico Brasiliano, as quais se situam a sul e oeste (Faixa Brasília), a noroeste (Faixa Rio Preto), a norte (Faixas Riacho do Pontal e Sergipana) e a sudeste (Faixa Araçuaí) (**Figura 11**).

7.3 – BORDA MERIDIONAL DO CRÁTON SÃO FRANCISCO

A borda meridional do cráton São Francisco apresenta evolução geológica policíclica, que está em parte associada ao Arqueano, quando foram gerados terrenos granito-*greenstone* com idades entre 3,20 e 2,77 Ga e em parte ao Paleoproterozoico, a partir da formação da bacia Minas (na transição entre o Neoarqueano e o Sideriano), bem como pelo desenvolvimento de arcos magmáticos intraoceânicos (Arco Juiz de Fora – Noce *et al.*, 2007; Arco Serrinha – Ávila *et al.*, 2010) e continentais (Arco Mantiqueira – Noce *et al.*, 2007; Heilbron *et al.*, 2010) associados ao cinturão Mineiro (Riaciano e Orosiriano) e de bacias estaterianas (São João del Rei e Espinhaço). Em adição, feições associadas a processos de

deformação e metamorfismo desenvolvidos durante o Neoproterozóico, marginais ao cráton, por vezes se superpõem às rochas arqueanas e paleoproterozoicas.

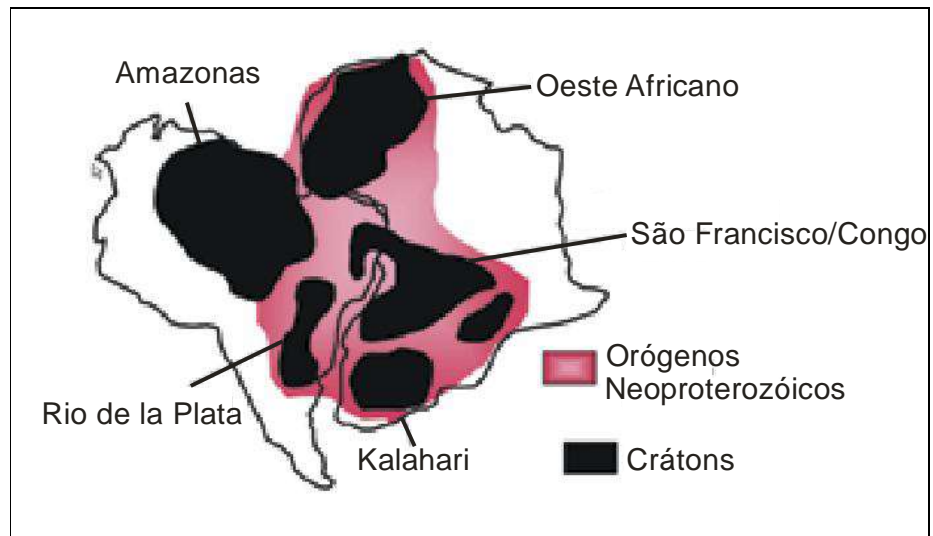


Figura 10 – Distribuição dos crátões maiores da América do Sul e da África e os orógenos neoproterozoicos envolventes (Compilada de Alkmim, 2004).

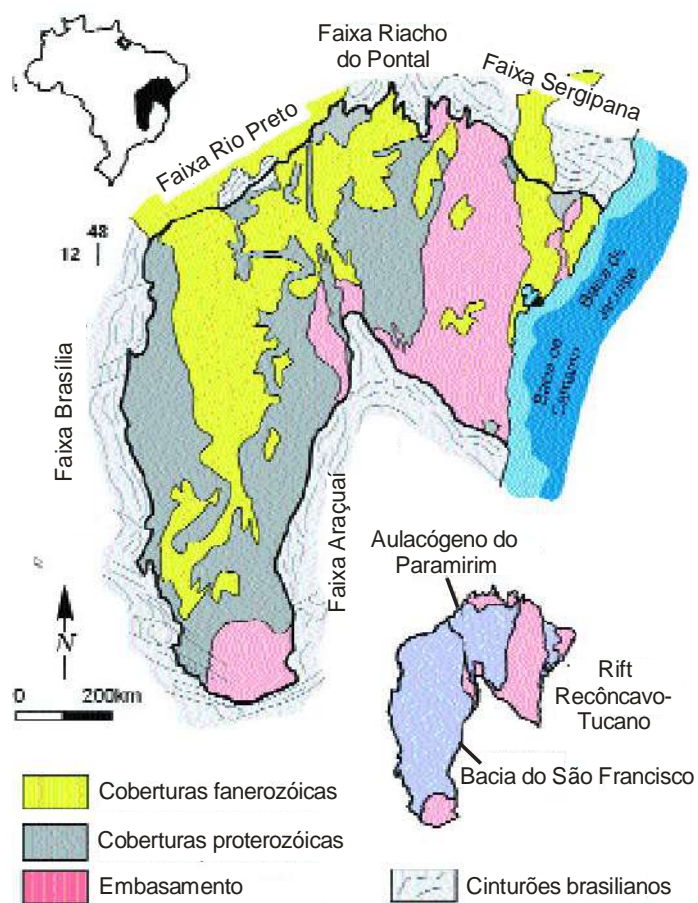


Figura 11 - Cráton São Francisco e faixas móveis marginais (Compilado de Alkmim, 2004).

Ao longo da porção meridional do cráton São Francisco ocorrem rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas (bem como vulcanoclásticas com contribuição félsica), que estão associadas as sequências metavulcano-sedimentares, que apresentam idades U/Pb de cristalização em zircão desde o Arqueano até o Paleoproterozoico. Como representantes de diferentes manifestações vulcânicas durante o Arqueano destacam-se: os metarriolitos do supergrupo Rio Paraúna com idade de 2971 ± 16 Ma (Machado *et al.*, 1989); o domo riodacítico intrusivo no *greenstone belt* Piumhi com idades mínimas $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircão de 3000 Ma e 2989 Ma (1,5% e 1,8% discordantes, respectivamente; Machado & Schrank, 1989); e as rochas vulcanoclásticas e dacíticas do *greenstone belt* Rio das Velhas com idades variando entre 2776 ± 9 Ma e 2751 ± 9 Ma (Machado *et al.*, 1992a; Noce *et al.*, 2005).

O primeiro evento tectonotermal referente à orogênese Rio das Velhas ocorreu a partir de 2.780 Ma (Machado & Carneiro, 1992), sendo este caracterizado pela intrusão de corpos plutônicos nos complexos metamórficos do Quadrilátero Ferrífero e arredores. O início da deposição das rochas do supergrupo Rio das Velhas está também relacionado ao evento em questão. Entre 2.600 e 2.500 Ma ocorreu a estabilização da plataforma cratônica, que era constituída por gnaisses mesoarqueanos, por intrusões tonalíticas - graníticas neoarqueana e por rochas do supergrupo Rio das Velhas (Machado *et al.*, 1992; Noce, 1995). Nessa margem continental passiva iniciou-se a deposição dos sedimentos plataformais do supergrupo Minas, que representa o início do domínio paleoproterozoico na borda meridional do cráton São Francisco.

7.4 - CINTURÃO MINEIRO

O termo cinturão Mineiro proposto por Teixeira & Figueiredo (1996) corresponde a um arco magmático presente na borda meridional do cráton São Francisco, envolvendo principalmente rochas geradas no Paleoproterozoico. Porém, Alkmin (2004) sugeriu que o cinturão Mineiro incluiria também gnaisses e migmatitos arqueanos parcialmente retrabalhados no Paleoproterozoico, bem como rochas do *greenstone belt* Rio das Velhas, do supergrupo Minas e os granitóides arqueanos e paleoproterozoicos (Figura 12). Segundo Alkmin (2004) o limite sul do cinturão Mineiro seria marcado pelo limite cratônico (Figura 13) proposto por Almeida (1977).

No domínio geográfico do cinturão Mineiro são raras as citações de rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas (andesitos, dacitos, riodacitos, riolitos e granófiros), estando à primeira citação associada ao trabalho de Guimarães & Paiva (1927), que descreveram rochas granofíricas nas proximidades do córrego Santo Antônio em Tiradentes. Teixeira (1992) cita a presença de estratos riolíticos e acumulações piroclásticas entre as cidades de Nazareno e São

João del Rei, correlacionando-as tentativamente ao Arqueano, enquanto Ávila *et al.* (1998b, 2010a) reportaram as primeiras idades paleoproterozoicas para essas mesmas rochas e propuseram que sua evolução estaria relacionada a um ambiente de arco de ilha intra-oceânico.

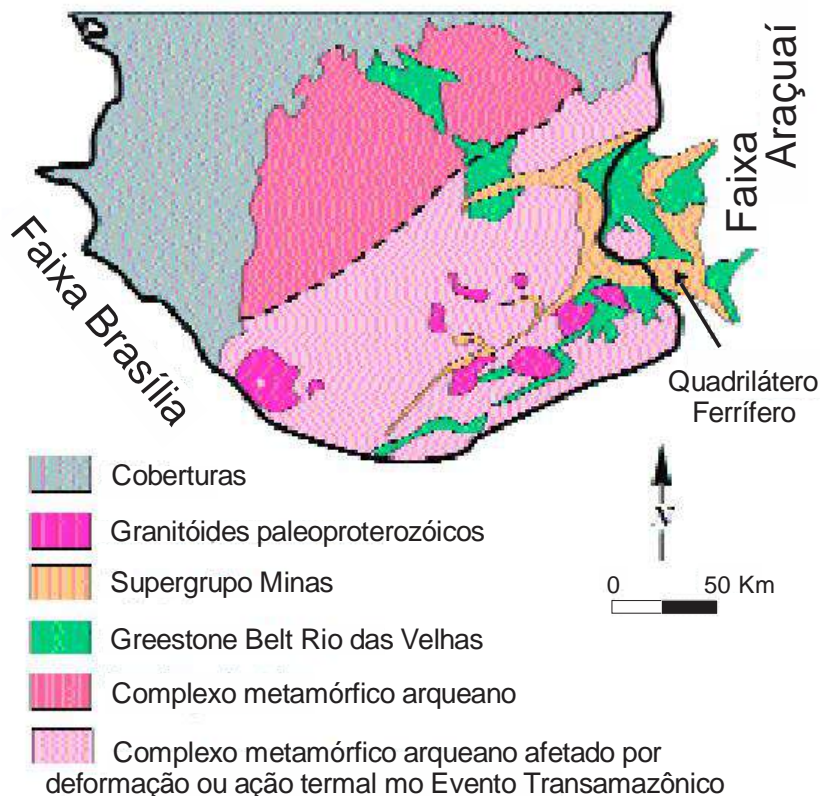


Figura 12 – Rochas que compõem o cinturão Mineiro segundo Alkmin (2004): gnaisses e migmatitos arqueanos parcialmente retrabalhados no paleoproterozoico, rochas do *greenstone belt* Rio das Velhas, do supergrupo Minas e os granitóides arqueanos e paleoproterozoicos. Extraído de Alkmin (2004).

Neste sentido, as ocorrências paleoproterozoicas melhor conhecidas até o presente são representadas por rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas da suíte Serrinha, borda meridional cratônica, na região de São João del Rei (Ávila *et al.*, 2007) com idades entre 2.227 ± 22 e 2.211 ± 22 Ma (Ávila *et al.*, 2010a) e por rochas vulcânicas félsicas do supergrupo Espinhaço, com idades variando entre 1770 e 1700 Ma (Brito Neves *et al.*, 1979; Dussin *et al.*, 1993; Schobbenhaus *et al.*, 1994; Babinski *et al.*, 1994 e 1999).

No contexto tectônico, a região entre Lavras e Barbacena é caracterizada pela presença de diversos corpos plutônicos cálcio-alcálinos paleoproterozoicos gnaissificados ou não (ortognaisses, dioritos, tonalitos, trondhjemitos, granodioritos e granitos – Teixeira *et al.*, 1997, 2005, 2008; Noce *et al.*, 2000; Quéméneur & Noce, 2000; Ávila, 2000; Cherman, 2004). O processo de geração deste plutonismo vincula-se ao desenvolvimento do cinturão

Mineiro, uma unidade geotectônica formada, em sua maior parte, pela amalgamação no antepaís arqueano de diversos arcos magmáticos intra-oceânicos e continentais durante o Riachiano (Noce *et al.*, 2007; Ávila *et al.*, 2010; Heilbron *et al.*, 2010).

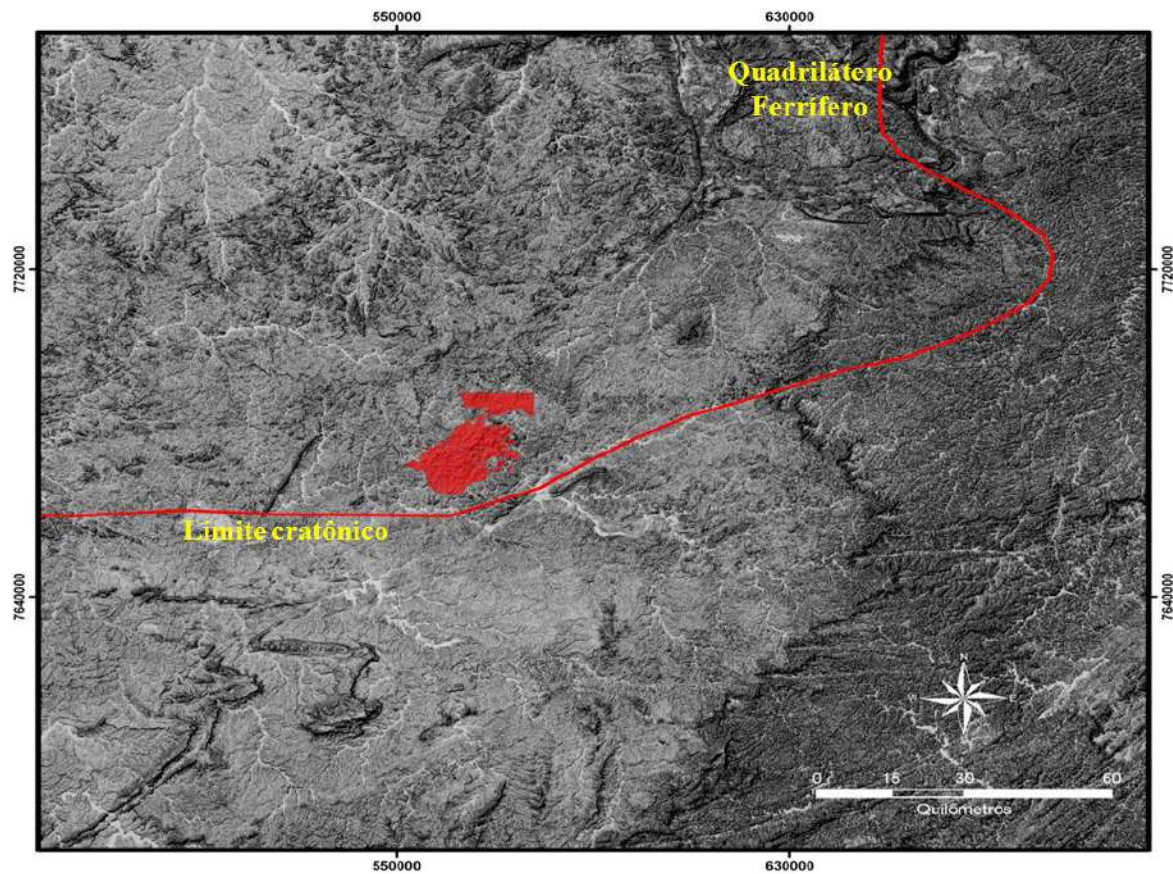


Figura 13 – Limite cratônico destacado pela linha vermelha.

8 - GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA

8.1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as principais características das unidades litológicas que ocorrem na área estudada e que compõem o mapa regional (**Figura 14**).

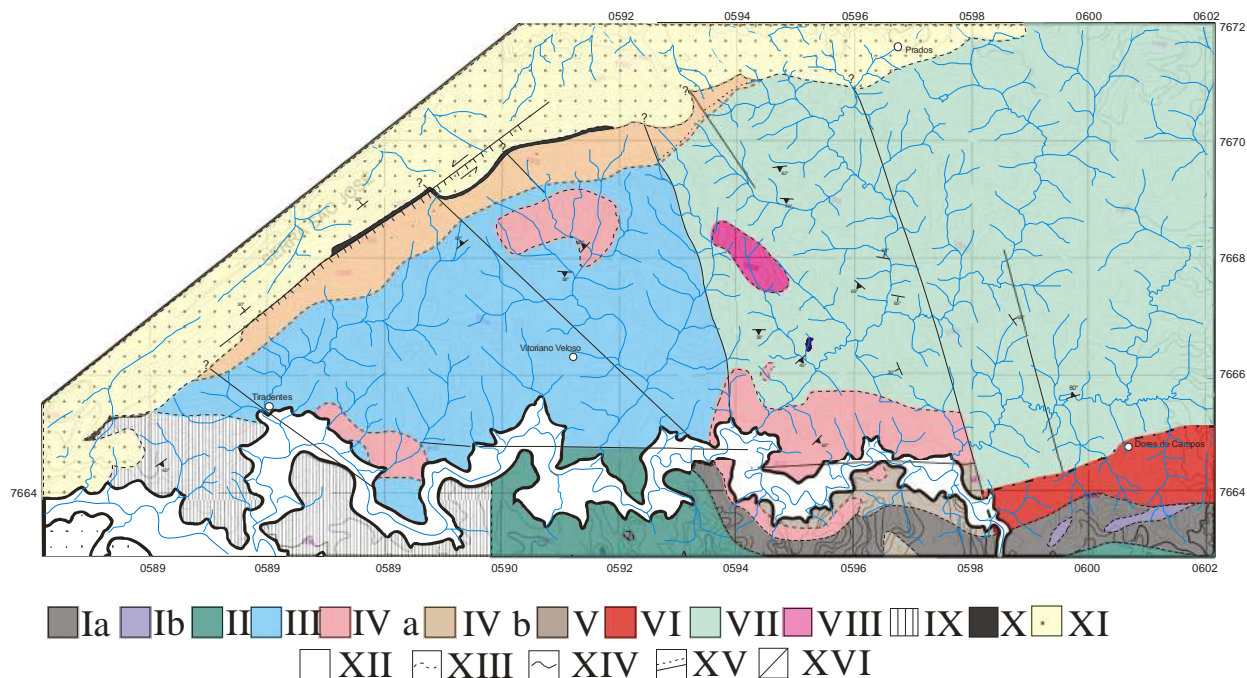


Figura 14 - Mapa geológico da região entre Tiradentes, Prados e Dorcas de Campos. I - Metaperidotito-metagabro Estação de Prados: Ia – Metadunitos, metapiroxenitos e anfibolititos; Ib – Metagabros; II – *Greenstone Belt* Dorcas de Campos: IIa – Serpentinitos, talco xistos, tremolita xistos e metakomatiitos intercalados com raros níveis de gonditos, quartzitos e filitos; IIb – Anfibolititos, granada anfibolititos, xistos verdes com raros níveis de quartzitos e filitos associados; III – Andesito máfico Santo Antônio; IV – Suíte félsica Tiradentes; IVa – Corpos subvulcânicos félsicos com textura equigranular; IVb – Corpos vulcânicos e subvulcânicos félsicos com textura afanítica (equigranular e porfirítica), granofírica, acamadada e de fluxo magmático; V – Diorito Dorcas de Campos; VI – Tonalito Brejo Alegre; VII – Gabro Vitoriano Veloso; VIII – Tonalito; IX – Sequência metavulcânica – metassedimentar Estação de Tiradentes; X – Magnetita clorita filito; XI – Megassequências São João Del Rei e Carandaí; XII – Sedimentos recentes; XIII – Contatos inferidos; XIV – Contatos observados; XV – Estruturas interpretadas e inferidas; XVI – Falha transcorrente.

O referido mapa é o produto da compilação de trabalhos anteriores (Bezerra Filho, 2006; Abreu, 2007) e do levantamento geológico realizado nesta monografia, entre as cidades de Tiradentes, Prados, Dorcas de Campos e o vilarejo de Vitoriano Veloso. Como resultado final do levantamento foram definidas doze (12) unidades de mapeamento na escala 1:25.000 que correspondem a:

I - Metaperidotito - metagabro Estação de Prados: corpo cumulático, fanerítico, equigranular, de granulação média a grossa composto por dunitos, piroxenitos, anfibolititos, metagabros, serpentinitos e tremolita xistos. Estudado por Silva (2012);

- II - *Greenstone belt* Dorés de Campos: representado por rochas metavulcânicas ultramáficas (serpentinitos, talco xistos, tremolita xistos) e máficas (anfíbolitos, granada anfíbolitos e clorita - actinolita xistos) intercaladas com delgados níveis metassedimentares (filitos, quartzitos e gonditos). As rochas metamáficas e metaultramáficas são faneríticas finas e apresentam marcante foliação metamórfica. Estudado por Bezerra Filho (2007);
- III - Andesito máfico Santo Antônio: rochas andesíticas finas a médias, equigranulares, localmente porfíricas (fenocristais de anfíbólio) compostas por anfíbólio, plagioclásio, biotita e raro quartzo. Reúne também diques dioríticos de granulação média;
- IV - Suíte félsica Tiradentes: correspondente a corpos vulcânicos e subvulcânicos félsicos, hololeucocráticos a leucocráticos, constituídos por andesitos, dacitos e tonalitos, com texturas equigranular a porfírica; granofírica; acamada e com estruturas de fluxo magmático. São intrusivos nos andesitos máficos Santo Antônio e possuem idade de cristalização de 2.204 ± 11 Ma e 2.213 ± 10 Ma (Ávila *et al.*, 2011);
- V - Quartzodiorito Dorés de Campos: envolve dioritos, quartzodioritos e tonalitos, faneríticos, inequigranulares médios a grossos, leucocráticos a mesocráticos, constituídos de plagioclásio, hornblenda e quartzo. Apresentam textura “pseudo” ofítica, xenólitos de rochas anfíbolíticas e idade de cristalização U/Pb de 2.199 ± 7 Ma (Ávila *et al.*, 2006);
- VI - Ortognaisse tonalítico Brejo Alegre: rochas leucocráticas, faneríticas, equigranulares médias a grossas, foliadas e compostas por quartzo, plagioclásio e biotita. Corta as rochas anfíbolíticas e metaultramáficas do *greenstone belt* Dorés de Campos e possui xenólitos de anfíbolitos (Silva, 2012);
- VII - Gabro Vitoriano Veloso: representado por rochas, equigranulares, envolvendo fácies distintas (diabásios e gabros) com granulações que variam de fina a grossa (Guerrero, 2011). Possui acamamento primário, orientação de fluxo magmático e autólitos. Constituído essencialmente por hornblenda, actinolita, provável ferro - actinolita, plagioclásio e quantidades bastante variáveis de minerais opacos. Ortopiroxênio e clinopiroxênio são raros e em geral, encontram-se pseudotransformados para anfíbólio.
- VIII – Tonalito:
- IX - Sequência metavulcânica - metassedimentar Estação de Tiradentes: intercalação de filitos, filitos carbonosos, quartzitos ferruginosos e metadiamicritos com vulcânicas máficas (metabasitos) e félsicas.

- X - Magnetita clorita filito: unidade representada por um corpo de distribuição muito restrita (base da Serra de São José) que possui granulação fina: composto por clorita, quartzo e grãos octaédricos de magnetita.
- XI - Megassequências São João Del Rei e Carandaí: são representadas por quartzitos e metapelitos de ambiente marinho costeiro, contendo estruturas sedimentares que indicam exposição subaérea como gretas de ressecamento (Ribeiro, 1997).

Cabe destacar que na presente monografia será dada atenção especial para as rochas da unidade andesito máfico Santo Antônio e da suíte félsica Tiradentes.

8.2 – ANDESITO MÁFICO SANTO ANTÔNIO

O andesito máfico Santo Antônio apresenta distribuição regular, ocorrendo principalmente entre a cidade de Tiradentes e o vilarejo de Vitoriano Veloso (**Anexo I – Mapa geológico**). Este é delimitado a norte pelas rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes e pelas rochas metassedimentares das megassequências São João Del Rei e Carandaí; a leste pelas rochas do gabro Vitoriano Veloso; a oeste pelas rochas da sequência metavulcânica - metassedimentar Estação de Tiradentes; e a sul por um corpo subvulcânico da suíte félsica Tiradentes, pelas rochas anfibolíticas do *greenstone belt* Dores de Campos e pelas rochas da sequência metavulcânica - metassedimentar Estação de Tiradentes.

8.2.1 – Aspectos de Campo

As rochas desta unidade ocorrem principalmente em afloramentos fortemente alterados (**Figura 15**), onde tanto o saprólito, quanto o solo associado a este litótipo apresentam cor marrom avermelhada (**Figura 16**), que contrasta fortemente com o saprólito das rochas vulcânicas - subvulcânicas félsicas de coloração rosa – amarronzada (**Figura 17**), onde ambos os litótipos estão associados de forma complexa (**Figura 18**).



Figura 15 - Afloramento bastante alterado (saprólito) de rocha metamáfica correlacionada à unidade andesito máfico Santo Antônio.

As rochas andesíticas máficas são faneríticas finas a médias, mesocráticas (**Figura 19**), variam de andesitos a dioritos (mais restritos) e possuem fenocristais de anfibólio de até 6mm. Estas são cortadas por diques de metabasito e por delgados veios de epidoto (**Figura 20**), bem como ocorrem como xenólitos (**Figura 21**) ou sendo entrecortada por diques das rochas vulcânicas - subvulcânicas félsicas (**Figura 22**). Com relação à distinção em campo do solo e

saprólito das rochas do andesito máfico Santo Antônio com o solo e saprólito do gabro Vitoriano Veloso, a dificuldade é grande, pois ambos possuem coloração muito semelhante.



Figura 16 - Saprólito típico da rocha do andesito máfico Santo Antônio.

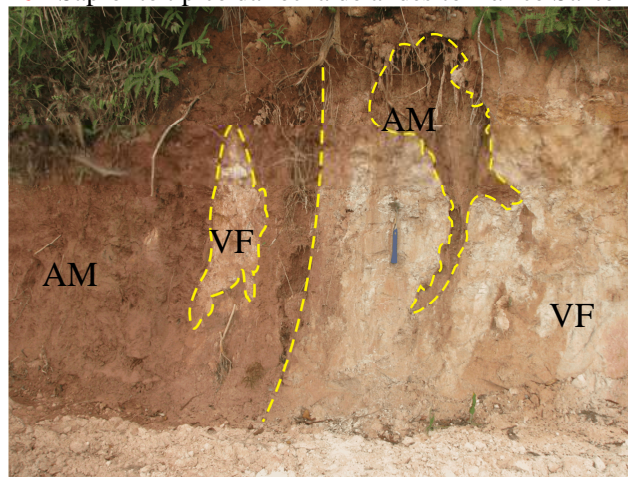


Figura 17 - Saprólito do andesito máfico Santo Antônio (AM) em contato com rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes (VF).

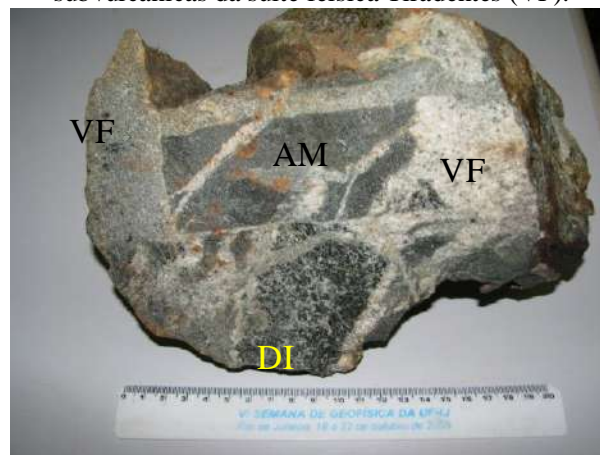


Figura 18 - Amostra de uma brecha magmática com interações complexas entre dioritos/gabros (DI), rochas máfica (AM - correlacionada à sequência andesítica máfica Santo Antônio) e rochas vulcânicas - subvulcânicas félsicas (VF - associadas à suíte félsica Tiradentes). Ponto BIA-73.



Figura 19 - Rocha mesocrática e fanerítica fina a média da unidade andesito máfico Santo Antônio.



Figura 20 – Amostra da unidade andesito máfico Santo Antônio composta por plagioclásio, anfibólio e biotita. Esta apresenta pequenos fenocristais de anfibólio e é cortada por delgados veios de epidoto.



Figura 21 - Xenólito de rocha máfica (VM) correlacionado à unidade máfica Santo Antônio em rocha vulcânica - subvulcânica da suíte félsica Tiradentes (VF) contendo. Ponto JU-87.



Figura 22 – Afloramento do andesito máfico Santo Antônio (AM) sendo cortado por um dique de rocha félsica correlacionado a suíte félsica Tiradentes (VF). Ponto JU-87.

As rochas da unidade andesítica máfica Santo Antônio são frequentemente cortadas por pegmatitos (**Figura 23**) e por veios de quartzo (**Figura 24**) em diversas direções, onde os corpos pegmatíticos variam desde centimétricos a métricos e ocorrem muitas vezes associados às intrusões félsicas.

8.2.2 – Aspectos Petrográficos

As rochas andesíticas são faneríticas (**Figura 25a**), mesocráticas (**Figura 25b**), variam de muito finas a médias (**Figura 25c**), apresentam textura equigranular e localmente fenocristais de plagioclásio, hornblenda e biotita. Neste mesmo contexto, possuem textura lepidoblástica (caracterizada pela orientação de cristais de hornblenda e de biotita - **Figura 26**)

e nematoblástica (dada por cristais de biotita intercrescidos de forma homogênea com seus eixos maiores paralelos - **Figura 27**).



Figura 23 – Pegmatito (Peg) centimétrico cortando saprólito amarronzado correlacionado a unidade andesito máfico Santo Antônio.



Figura 24 – Veio de quartzo em saprólito amarronzado da unidade andesito máfico Santo Antônio.

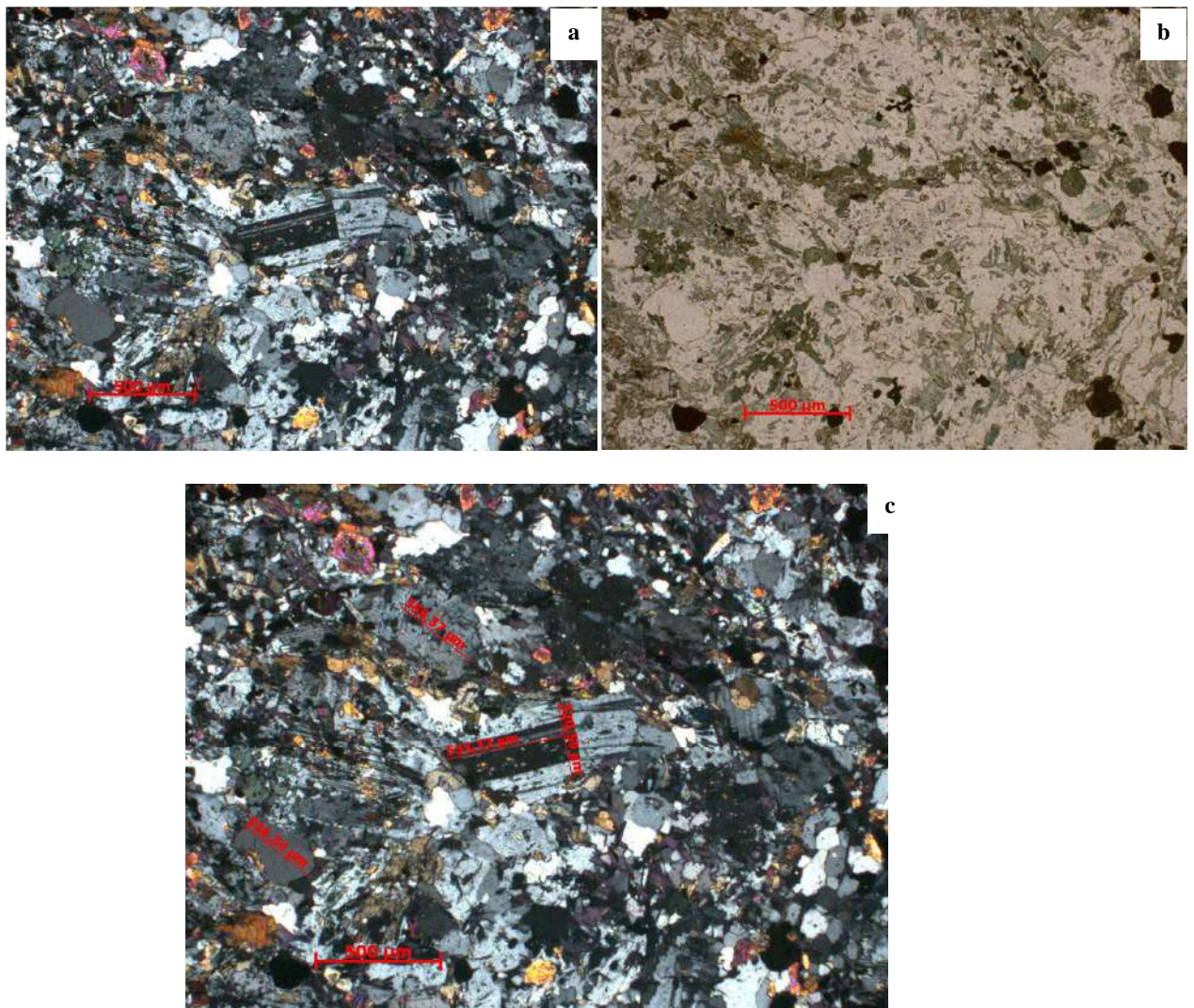


Figura 25 - Textura geral das rochas da unidade andesito máfico Santo Antônio. Lâmina BIA – 33L.
a) Textura equigranular com polarizadores cruzados; **b)** Textura equigranular com polarizadores paralelos; **c)** Tamanho dos cristais.



Figura 26 - Textura lepidoblástica dada pela orientação dos grãos de biotita e hornblenda nas rochas da unidade andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina JU-87B.

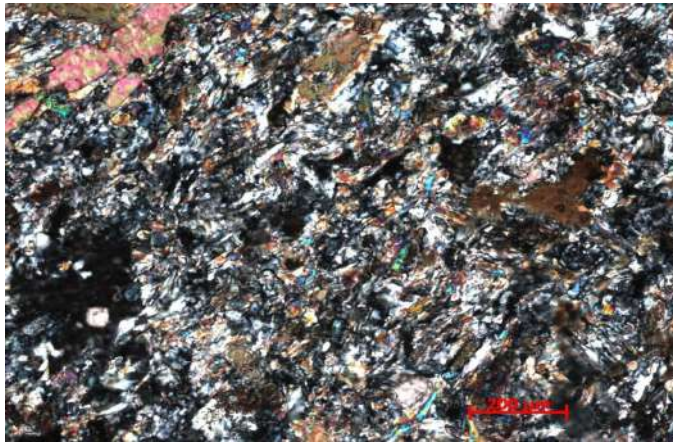


Figura 27 – Textura nematoblástica das rochas da unidade andesito máfico Santo Antônio mostrando orientação dada pela biotita e epidoto. Lâmina JU-87G1.

8.2.2.1 – Feições Ígneas

A mineralogia primária das rochas da unidade andesito máfico Santo Antônio compreende plagioclásio, hornblenda, biotita, minerais opacos, apatita e zircão. Os fenocristais de plagioclásio são predominantemente hipidiomórficos, variam de muito finos a finos, apresentam geminação polissintética complexa e encontram-se desde levemente a fortemente alterados para minerais da família do epidoto (**Figura 28**). Os grãos de hornblenda possuem cor marrom esverdeada e aspecto “sujo” devido à presença de uma grande quantidade de inclusões e/ou exsoluções de minerais castanhos e opacos aciculares (**Figura 29**). Os minerais opacos variam de idiomórficos a xenomórficos e de muito finos a finos (**Figura 30**), envolvendo principalmente magnetita, ilmenita e pirita. No mesmo contexto, os cristais de apatita são milimétricos e idiomórficos (**Figura 31**), enquanto o zircão é hipidiomórfico, milimétrico, com formas arredondadas e ocorre incluso na biotita (**Figura 32**).

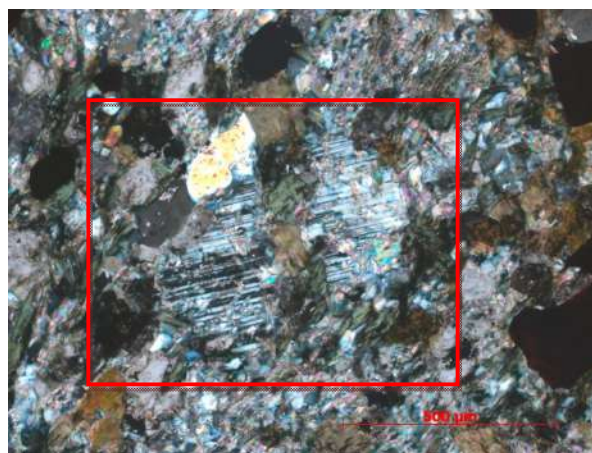


Figura 28 – Grãos de plagioclásio com forma hipidiomórfica e geminação polissintética (destacada pelo retângulo vermelho). Este grão é cortado por veio de clorita e biotita. Andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA – 33L.



Figura 29 – Grão de hornblenda de coloração esverdeada e aspecto “sujo” devido à presença de minerais castanhos e opacos com forma acicular. Andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina BIA-33A.

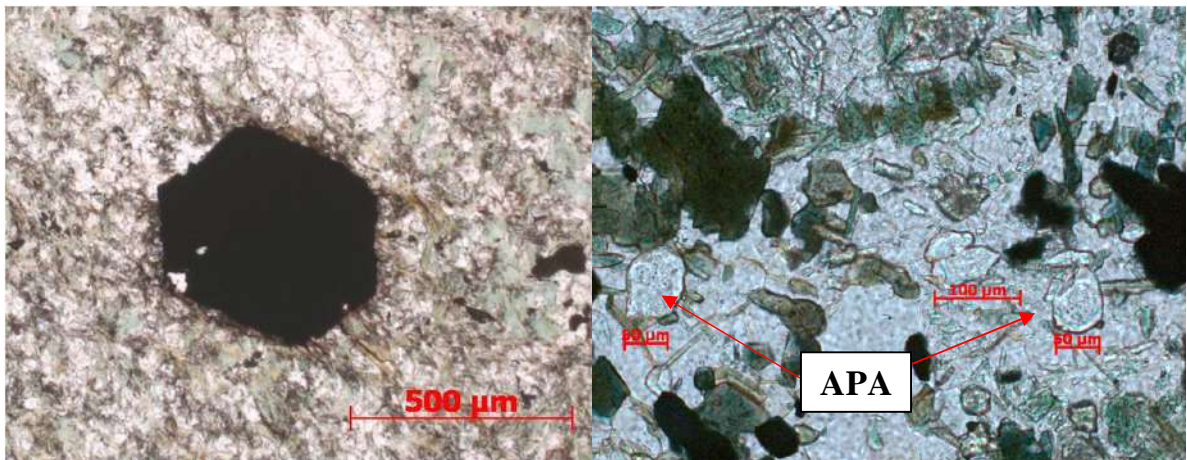


Figura 30 – Mineral opaco idiomórfico no andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina BIA-16.

Figura 31 - Cristais de apatita (APA) no andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina BIA-33L.



Figura 32 – Grão de zircão (elipse vermelha) incluído em biotita do andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina JU-87G1.

8.2.2.2 – Feições Metamórficas

A mineralogia metamórfica das rochas da unidade andesito máfico Santo Antônio é representada por actinolita, biotita₂, epidoto e titanita, onde esta última desenvolve-se ao redor de minerais opacos (**Figura 33**). A principal feição metamórfica caracterizada nas rochas desta unidade corresponde à formação da actinolita, que possui pleocroísmo variando em tons de verde claro e possui formato alongado tabular (**Figura 34**) ou acicular. A actinolita é livre das inclusões de minerais castanhos e opacos aciculares (característicos da hornblenda) e se desenvolve ao redor desta (**Figura 35**), provavelmente substituindo-a. De forma semelhante, a biotita substitui desde parcialmente para completamente os grãos de hornblenda (**Figura 36**), enquanto os minerais da família do epidoto crescem sob os grãos de plagioclásio (**Figura 37**).

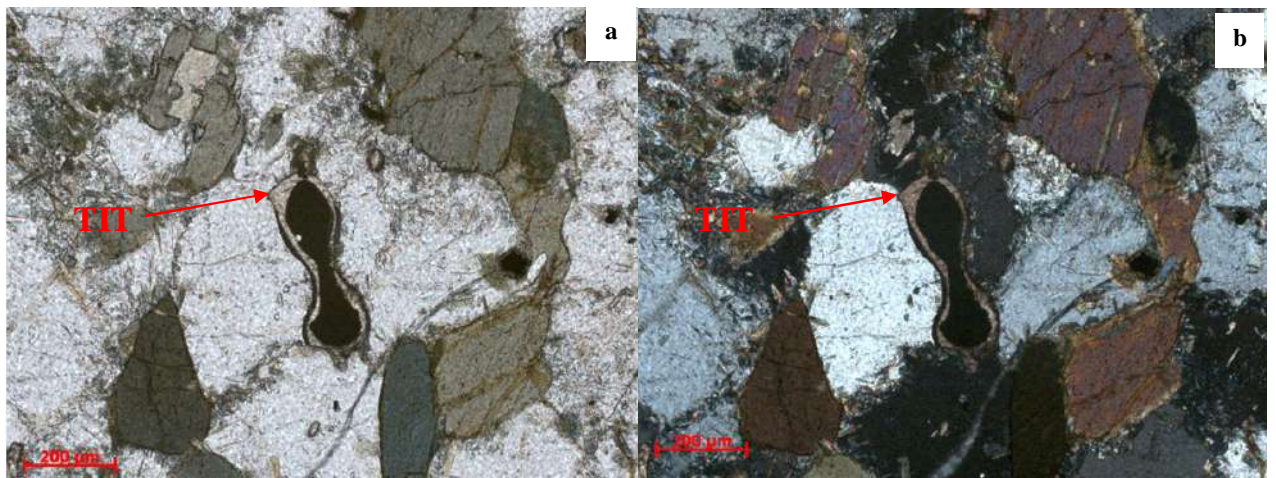


Figura 33 – Grãos de titanita (TIT) desenvolvidos ao redor dos minerais opacos no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina JU-102A.

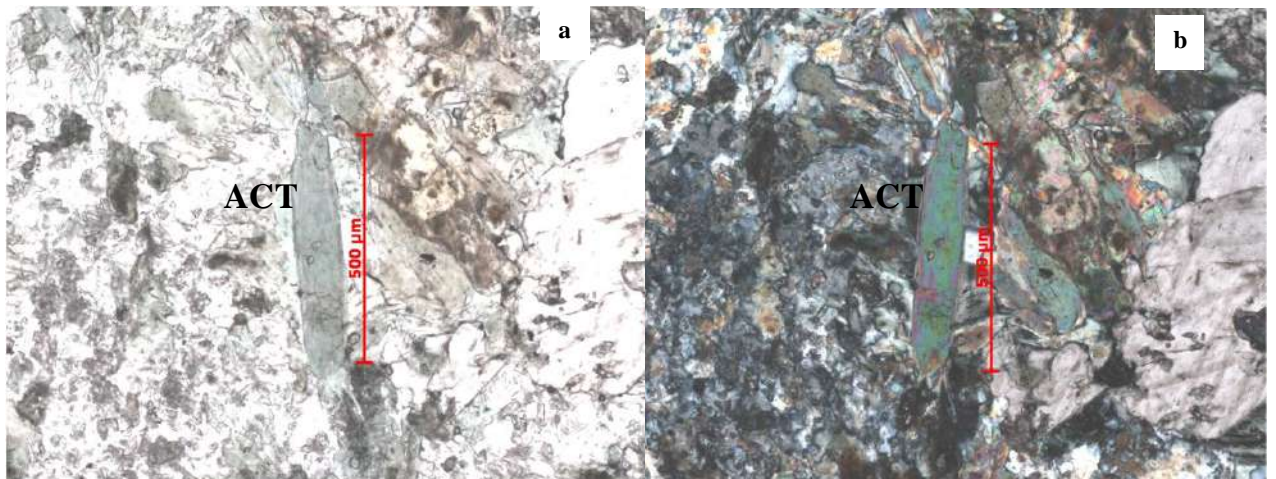


Figura 34 – Grãos de actinolita (ACT) prismático e tabular no andesito máfico Santo Antônio. **a)** polarizadores paralelos, **b)** polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33B.

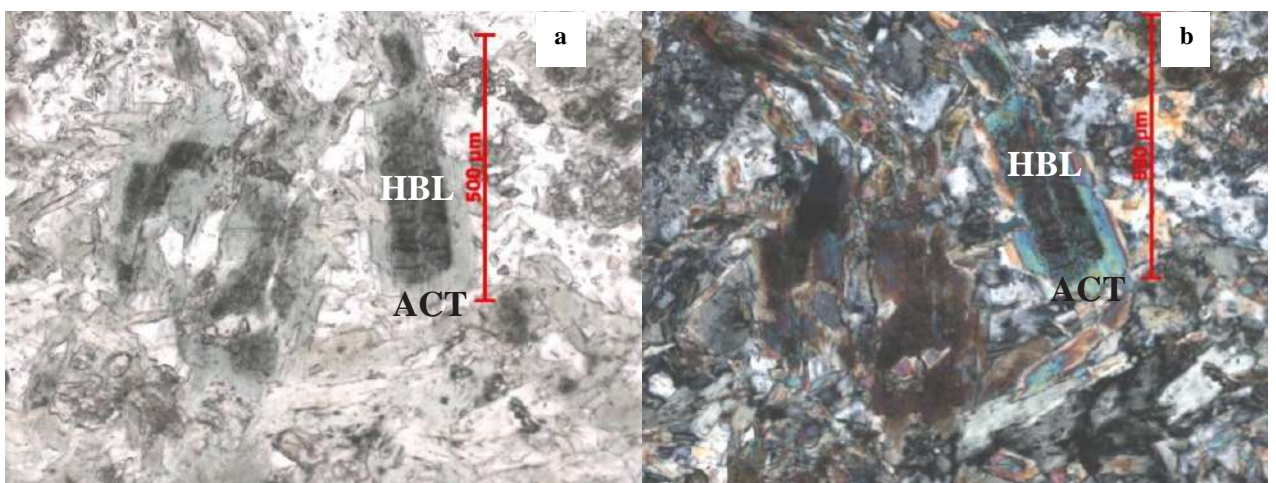


Figura 35 – Hornblenda marrom (HBL) rica em inclusões ou exsoluções de minerais opacos e castanhos aciculares com sobrecrecimento de actinolita (ACT), livre das inclusões. Andesito máfico Santo Antônio. **a)** polarizadores paralelos, **b)** polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33B.

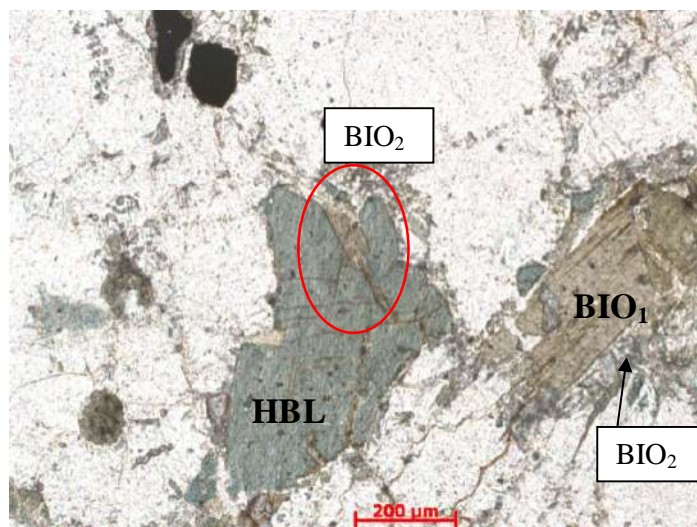


Figura 36 - Fenocristais primários de hornblenda (HBL) e biotita (BIO_1) no andesito máfico Santo Antônio com o crescimento de biotita₂ nas bordas. Polarizadores paralelos. Lâmina 102A.

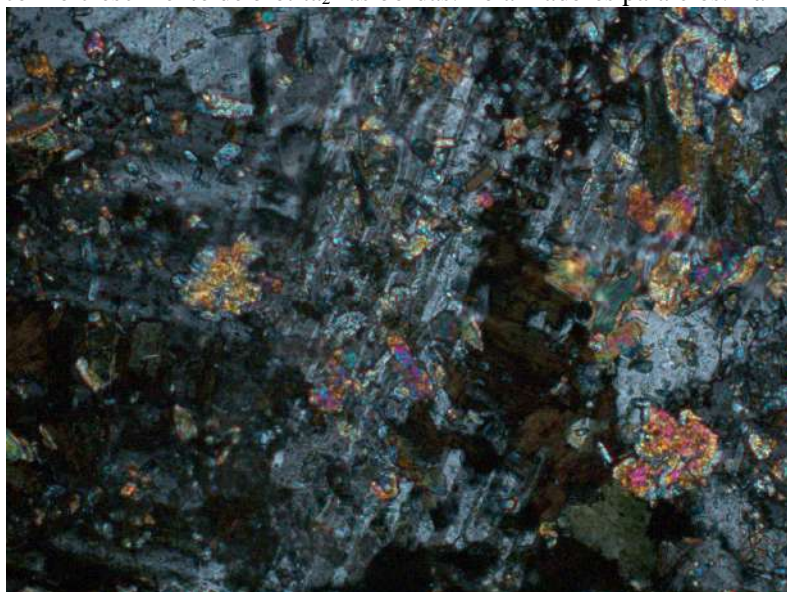


Figura 37 – Cristal de plagioclásio do andesito máfico Santo Antônio fortemente epidotizado e sericitizado. Polarizadores cruzados. Lâmina 109A.

Cabe ainda destacar que são encontrados na matriz fina da rocha cristais de titanita (Figura 38) e de epidoto, onde este último está provavelmente associado à transformação metamórfica de pequenos cristais de plagioclásio presentes na matriz. Por fim, ressalta-se que foi observado nos cristais de hornblenda a presença de uma grande quantidade de exsoluções de titanita (Figura 40), assim como titanita e epidoto associados a biotita (Figura 41).



Figura 38 – Grãos de titanita associados ao plagioclásio epidotizado na matriz fina do andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores paralelos. Lâmina BIA-33A.

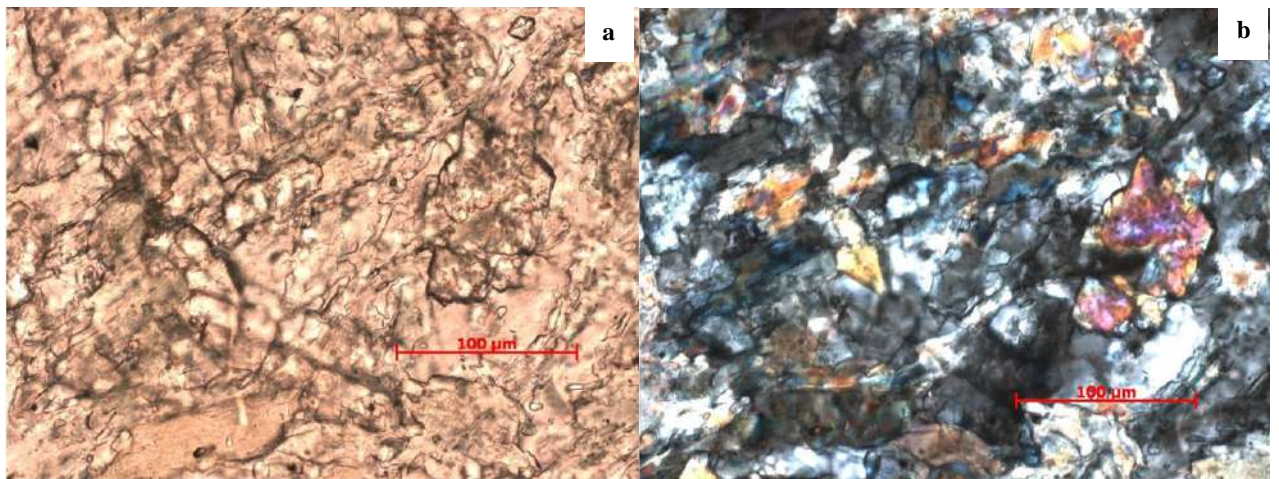


Figura 39 - Epidoto associado à matriz do andesito máfico Santo Antônio como provável produto da alteração de grãos de plagioclásio muito finos. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87G11.

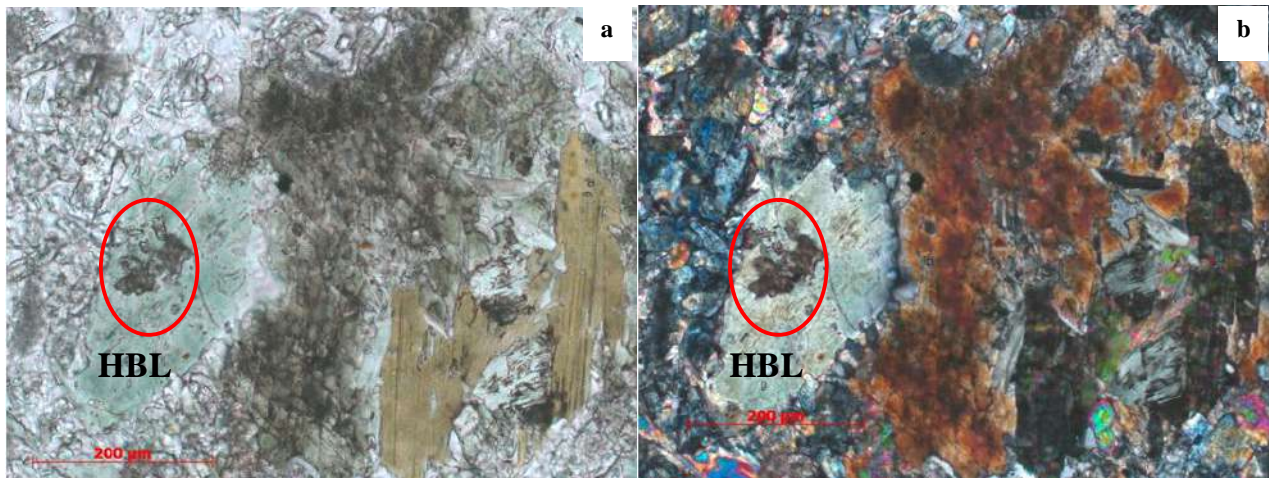


Figura 40 – Aglomerado de grão de titanita (circulada em vermelho) associado aos cristais de hornblenda (com cor esverdeada) no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina BIA33L.

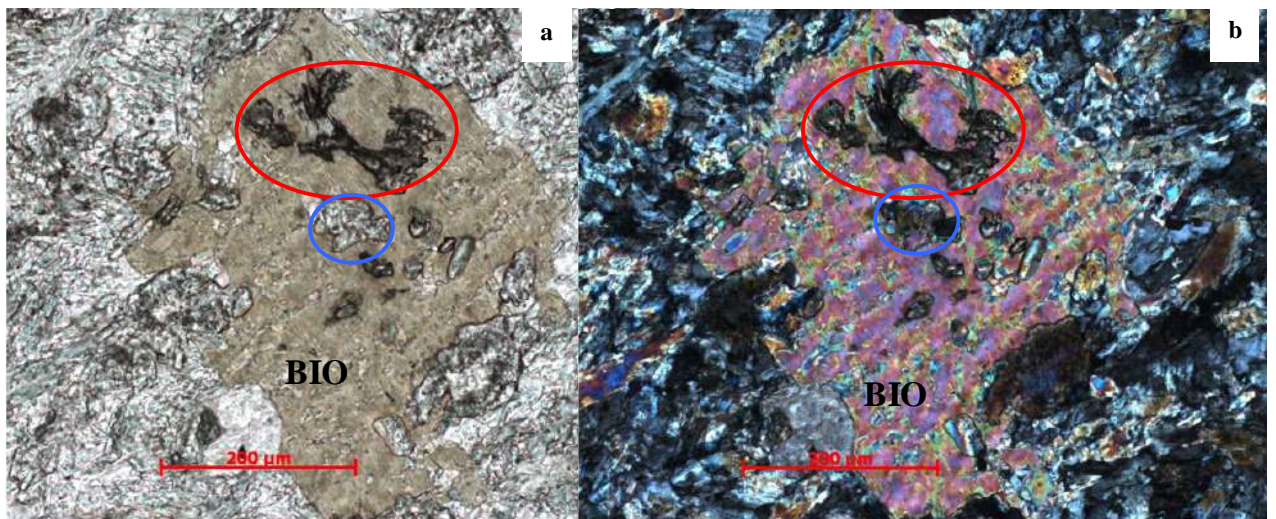


Figura 41 – Aglomerado de grãos de titanita (elipse vermelha) associado com biotita e epidoto (elipse azul) no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87 G11.

8.2.2.3 – Feições Hidrotermais

Sobrepondo as fases de crescimento metamórfico descritas anteriormente, ocorre uma paragênese hidrotermal bastante característica, contendo essencialmente clorita, biotita₃, muscovita, epidoto₂, zoisita e clinozoisita, que pode ou não obliterar totalmente as texturas pretéritas. Neste contexto, os cristais de clorita são encontrados substituindo o anfibólio (Figura 42) e a biotita (Figura 43), ocorrendo preferencialmente nas bordas dos referidos minerais ou ao longo dos planos de clivagem. Outra feição hidrotermal observada nos cristais de biotita é o crescimento de muscovita (Figura 44) na borda da mesma.

Em termos gerais, as rochas andesíticas máfica são representadas pela associação da titanita com a clorita (Figura 45) e da allanita com o epidoto e a clorita (Figura 46). Ocorrem ainda veios monominerálicos de epidoto, carbonato e veios poliminerálicos contendo quartzo, carbonato, epidoto e clorita, todos tardios.

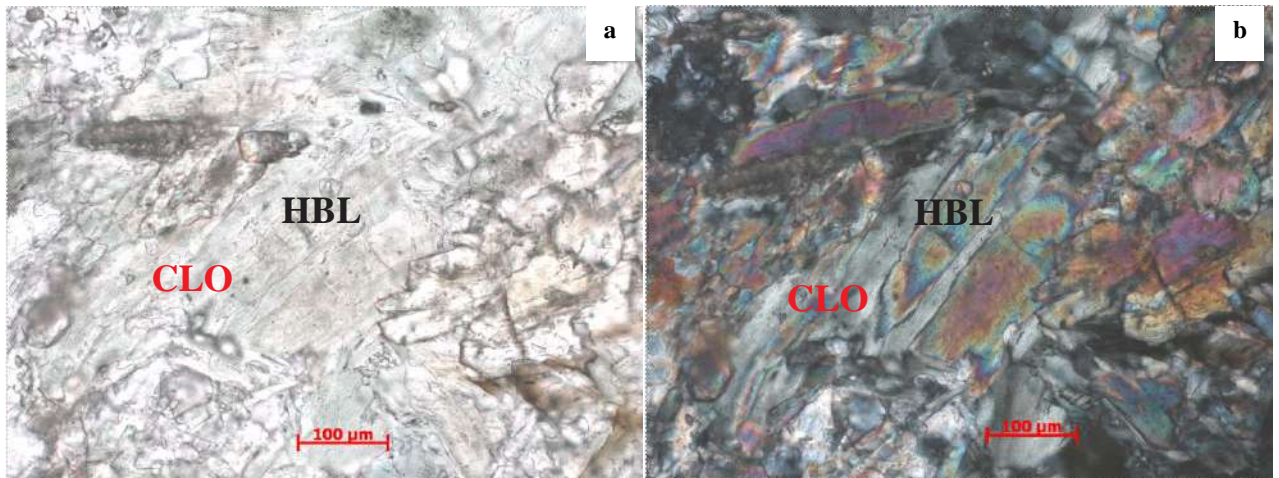


Figura 42 – Grãos de clorita se desenvolvendo ao redor de hornblenda tabular, que está em paragênese com epidoto no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33A.

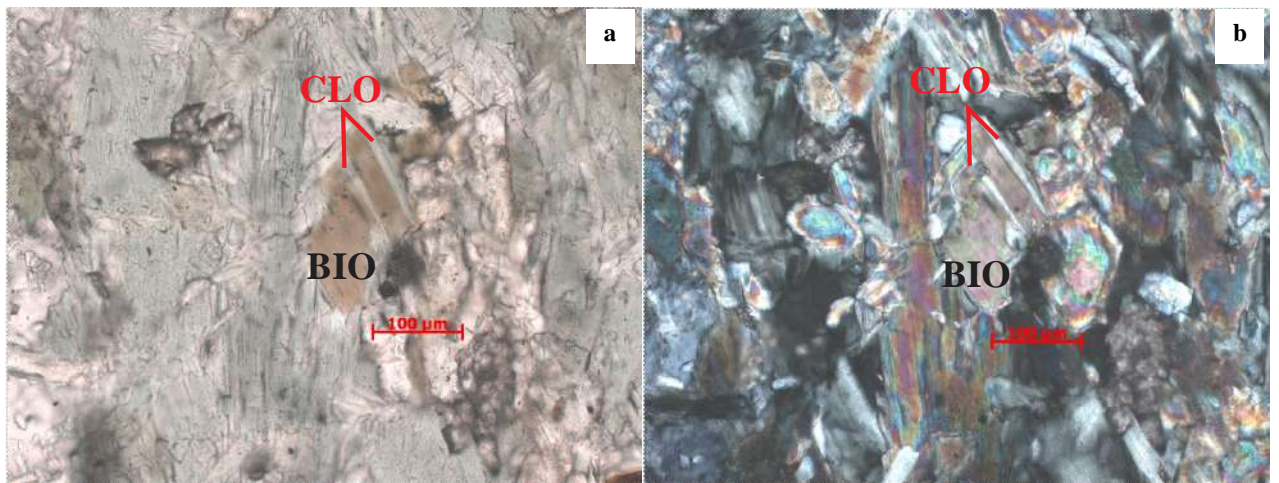


Figura 43– Biotita substituída parcialmente pela clorita no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33A

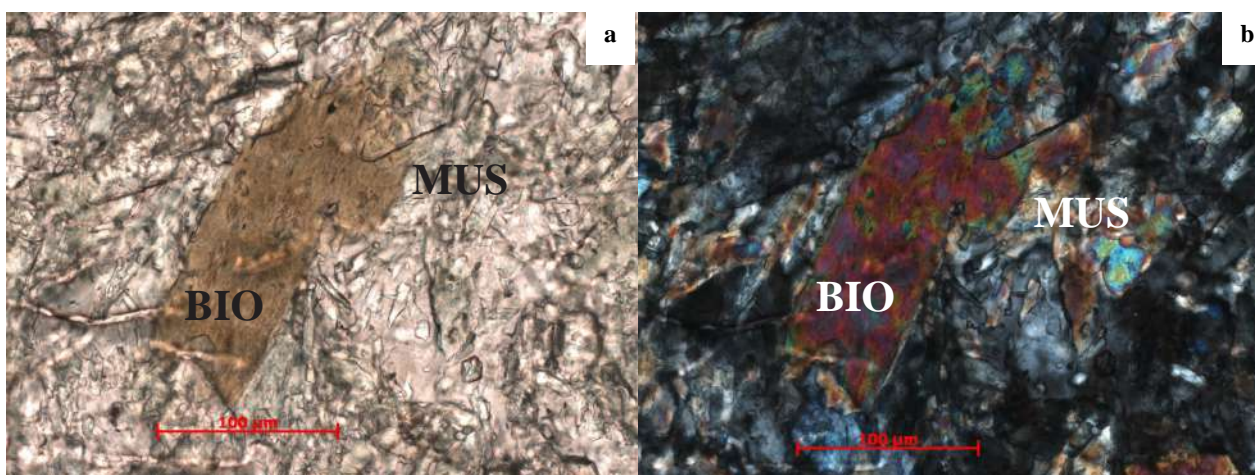


Figura 44 – Crescimento de grãos de muscovita na borda do cristal de biotita do andesito máfico Santo Antônio. **a)** polarizadores paralelos. **b)** polarizadores cruzados. Lâmina JU-87G11.

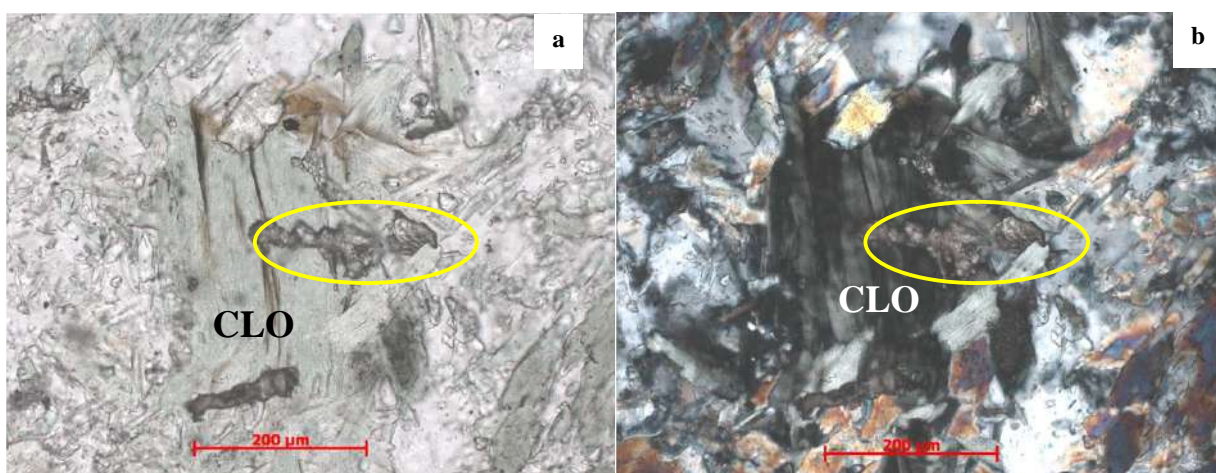


Figura 45 – Grão de titanita (amarelo) associada a clorita que substituiu um cristal de biotita no andesito máfico Santo Antônio. **a)** Polarizadores paralelos. **b)** Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33A.

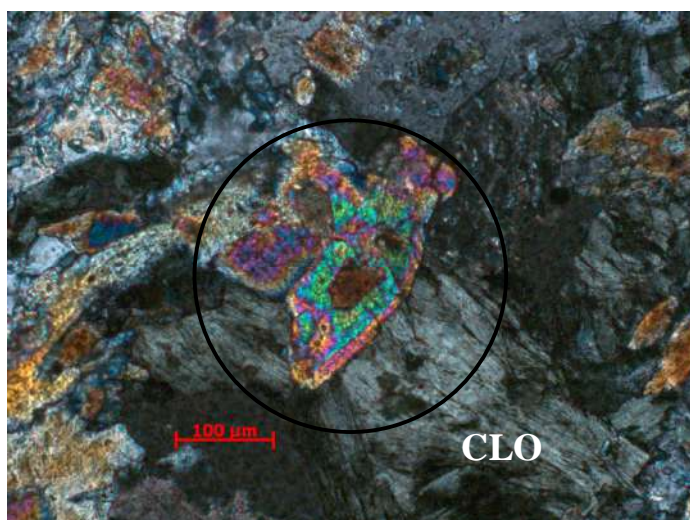




Figura 46 - Feição hidrotermal representada pelo crescimento de epidoto envolvendo allanita (circulo preto) e com desenvolvimento de clorita (CLO) na borda do epidoto. Andesito máfico Santo Antônio. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-33B.

8.2.3 – Geoquímica

O estudo geoquímico foi realizado em duas amostras do andesito máfico Santo Antônio (Tabela 6). As amostras foram analisadas para elementos maiores, menores e traços e sua seleção baseou-se principalmente em critérios de campo, dentre os quais, o estado de alteração intempérica e a variação faciológica.

Tabela 6 – Análises químicas para elementos maiores (% peso) e traços (ppm) das rochas do andesito máfico Santo Antônio. Legenda: - = teores abaixo dos níveis de detecção.

Amostra	BIA-16 	BIA-54C 
Laboratório	UFRJ	UFRJ
SiO ₂	49,24	57,10
TiO ₂	2,41	1,72
Al ₂ O ₃	13,77	15,03
Fe ₂ O ₃	14,21	11,66
MnO	0,21	0,31
MgO	6,10	2,02
CaO	9,98	5,28
Na ₂ O	2,40	4,67
K ₂ O	0,34	0,33
P ₂ O ₅	0,22	0,72
P.F.	1,52	1,67
Total	100,41	100,49
Ba	1444	449
Rb	20	19
Sr	313	250
Zr	200	124
Nb	13	13
Ni	-	69
Co	49	68
Zn	97	75
Cr	-	102
Y	37	28
Ga	15	13
V	196	226

No diagrama TAS para classificação de rochas ígneas vulcânicas (Le Bas *et al.*, 1985) uma das amostras plota no campo dos basaltos e a outra no campo dos andesitos devido a grande diferença no conteúdo de SiO₂ (Figura 47). É importante salientar que os processos de metamorfismo e hidrotermalismo podem ser responsáveis pela depleção de álcalis nas amostras plotadas no diagrama TAS (Rollinson, 1993). Já no diagrama utilizando os

elementos traços (Winchester & Floyd, 1977) uma das amostras plota no campo dos basaltos/andesitos e a outra nos campo dos basaltos subalcalinos (Figura 48). Em termos gerais, no diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) as rochas do andesito máfico Santo Antônio posicionam-se acima da linha de evolução do *trend* cálcio – alcalino (Figura 49), representado pela típica depleção de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) e pelo enriquecimento em FeO_{Tot} e de MgO . Porém uma das amostras apresenta conteúdo de Na_2O bastante superior a outra. Em relação ao índice de alumina-saturação, as rochas do andesito máfico Santo Antônio são metaluminosas (Figura 50).

No que diz respeito ao ambiente geotectônico, no gráfico $\text{TiO}_2 - 10 \times \text{MnO} - 10 \times \text{P}_2\text{O}_5$ (Mullen, 1983) a amostra com conteúdo de SiO_2 condizente com as restrições do diagrama plota no campo dos MORB (Figura 51), enquanto que no diagrama $\text{Ti} \times \text{Zr}$ (Pearce & Cann, 1973) uma amostra plota no campo dos MORB e a outra no campo do toleíta de arco de ilha (Figura 52). No diagrama $\text{Zr/Y} \times \text{Zr}$ (Pearce & Norry, 1979) ambas as amostras plotam no campo dos basaltos intraplacas devido ao seu elevado conteúdo de Zr (Figura 53).

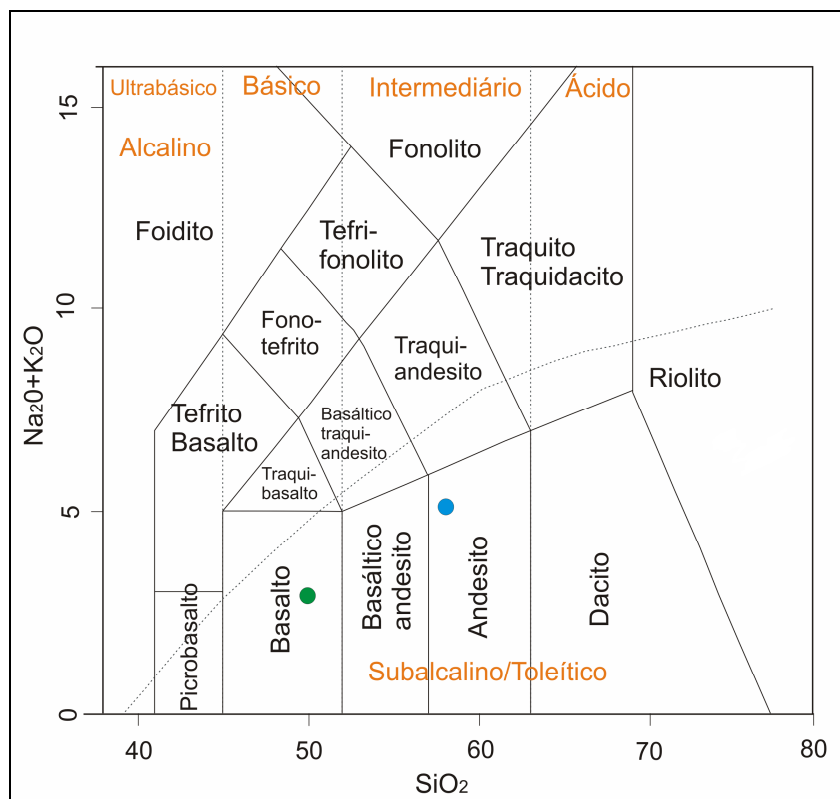


Figura 47 - Diagrama TAS (Le Bas *et al.* 1985) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio.

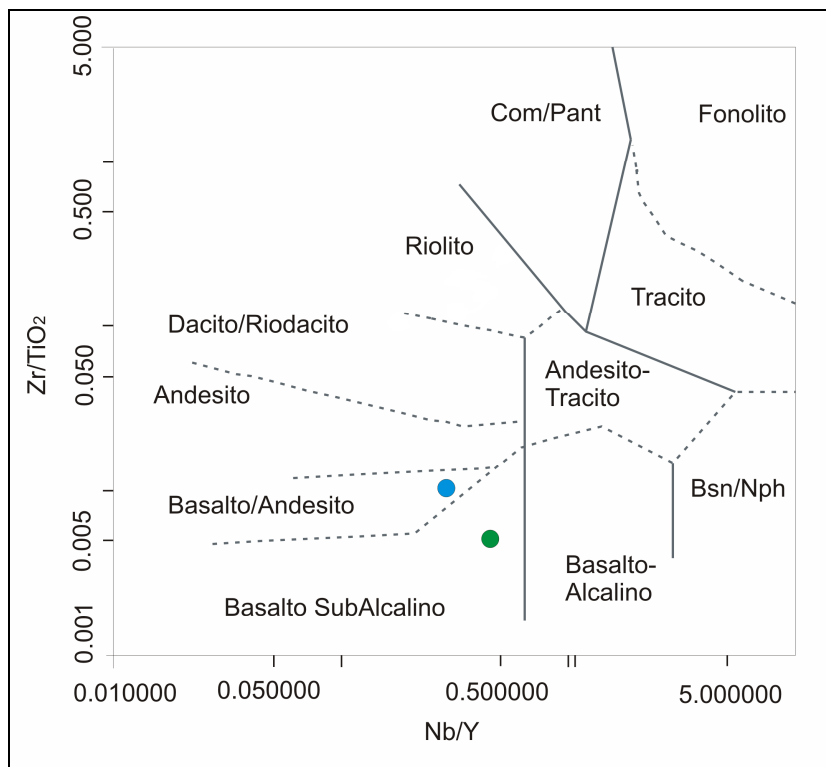


Figura 48 – Diagrama Winchester & Floyd (1977) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio.

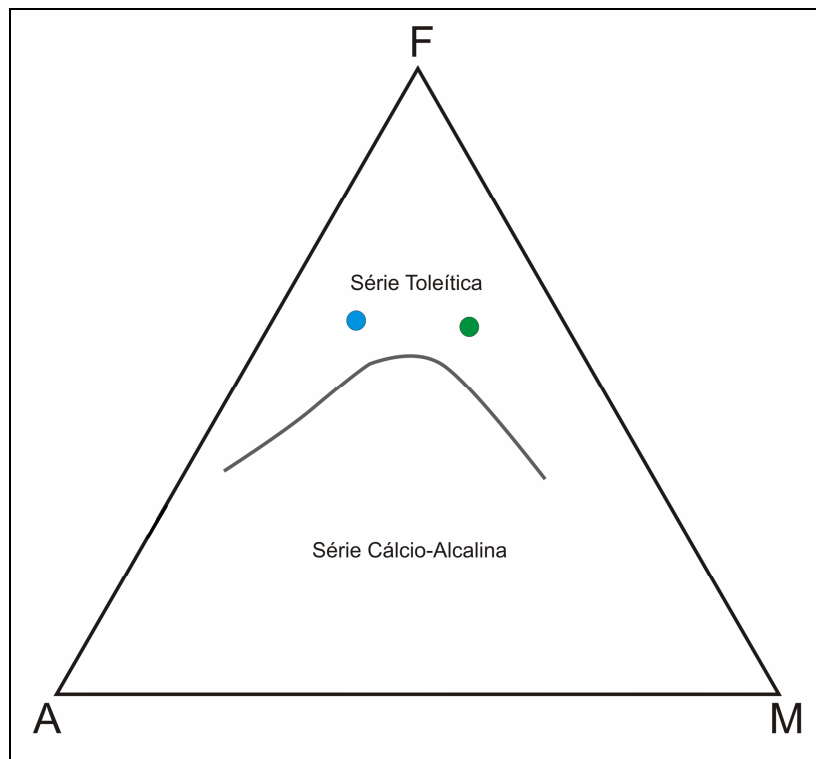


Figura 49 - Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) para os as rochas do andesito máfico Santo Antônio.

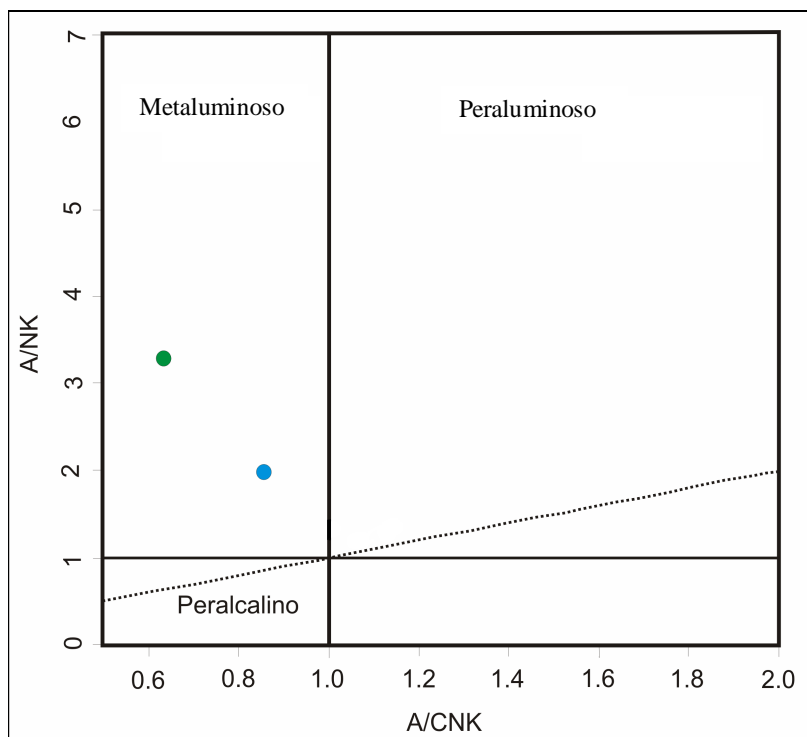


Figura 50 - Diagrama $[Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)]_{mol} \times [Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)]_{mol}$ (Maniar & Picolli, 1989) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio.

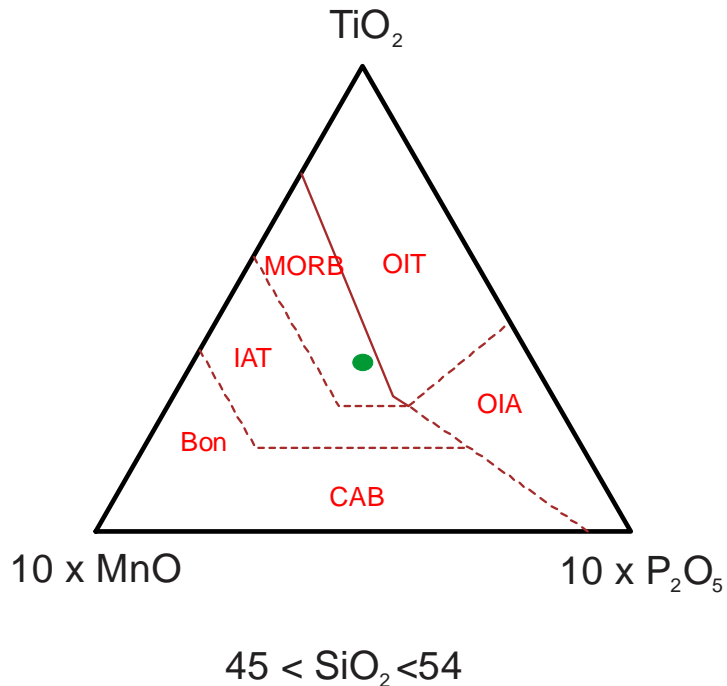


Figura 51 – Diagrama $TiO_2 \times (10xMnO) \times (10xP_2O_5)$ (Mullen, 1983) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio. Legenda: OIT = toleito de arco de ilha, OIA = basalto alcalino de arco de ilha, IAT – toleito de arco de ilha, CAB = basalto de arco continental.

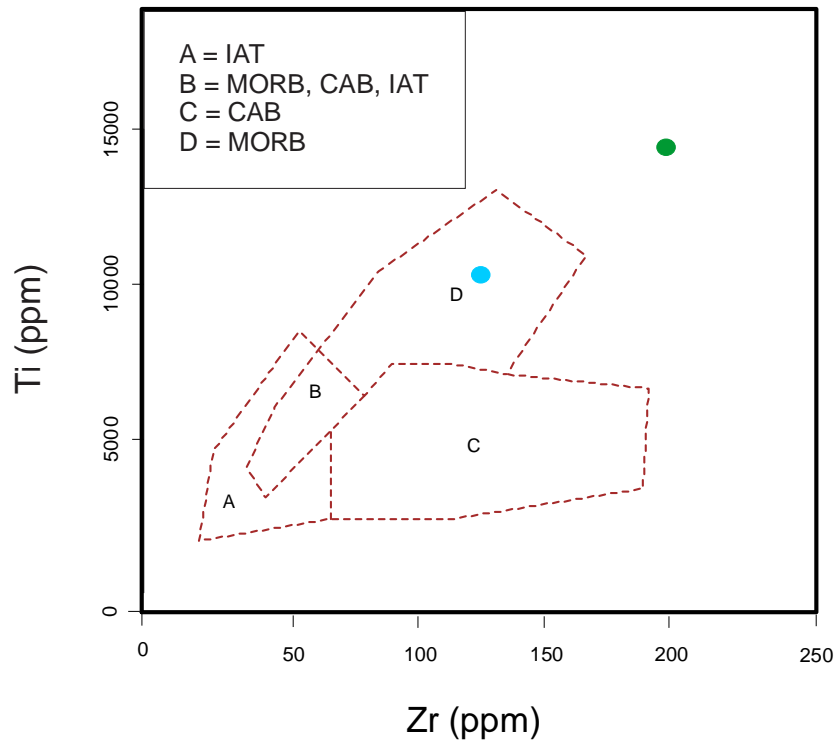


Figura 52 – Diagrama Ti x Zr (Pearce & Cann, 1973) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio. Legenda: OIT = toleito de arco de ilha, OIA = basalto alcalino de arco de ilha, IAT – toleito de arco de ilha, CAB = basalto de arco continental.

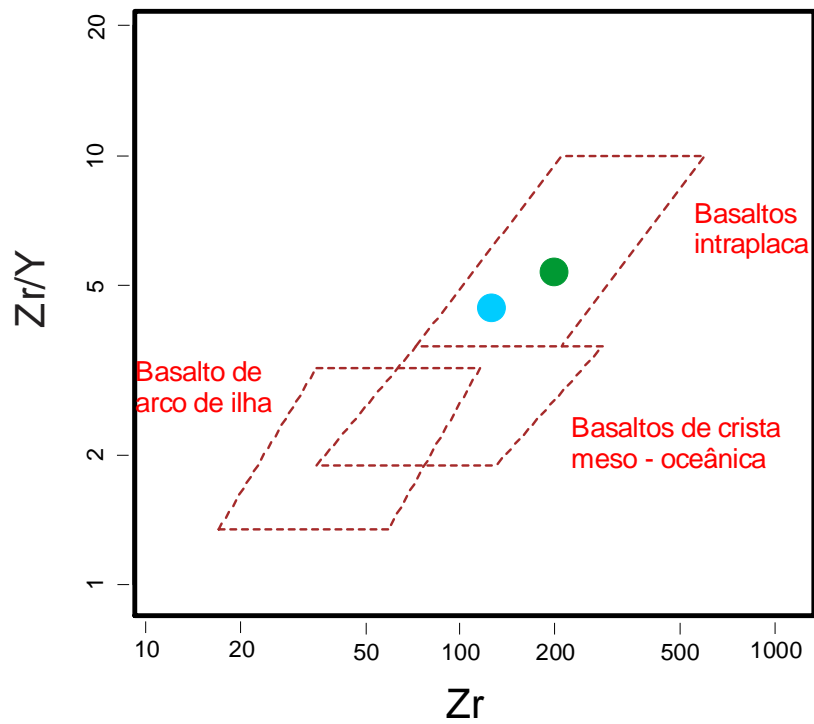


Figura 53 – Diagrama Zr/Y x Zr (Pearce & Norry, 1979) para as rochas do andesito máfico Santo Antônio.

8.3 - SUÍTE FÉLSICA TIRADENTES

A suíte félsica Tiradentes, objetivo específico da presente monografia, é constituída por dois conjuntos de rochas com composição semelhante, porém de texturas diferentes (tonalitos – dacitos), interpretadas como resultantes de distintos níveis crustais de consolidação do magma precursor. Neste contexto, a suíte pode ser subdividida em: 1) corpos vulcânicos e subvulcânicos félsicos afaníticos (Figura 54), incluindo predominantemente andesitos, dacitos e granófiros, com texturas que variam de equigranulares a microporfiríticas, localmente com estruturação acamada e; 2) corpos subvulcânicos félsicos, faneríticos de finos a médios (Figura 54), com textura variando de equigranular a porfirítica.

A denominação desta unidade como suíte félsica Tiradentes relaciona-se ao fato da mesma aflorar na região norte e oeste da cidade de Tiradentes e de que esta é constituída por corpos félsicos subvulcânicos e vulcânicos considerados como cogenéticos, porém distintos texturalmente.

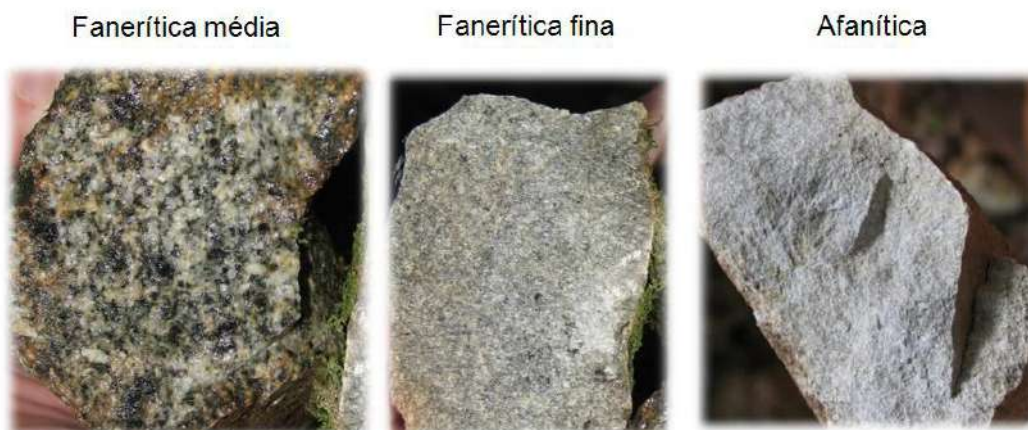


Figura 54 – Variação faciológica das rochas da suíte félsica Tiradentes.

8.2.1 – Aspectos de Campo

As rochas vulcânicas e subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes foram mapeadas como uma faixa alongada (cerca de 500m de largura por 10km de comprimento) na borda sul da serra de São José (Anexo I - Mapa geológico). Estas rochas são limitadas a norte por quartzitos da Megassequência São João del Rei e a sul pelas rochas da unidade dos andesitos máficos Santo Antônio e pelas rochas do gabro Vitoriano Veloso. Estas variam de hololeucocráticas a leucocráticas, e de equigranulares a porfiríticas, onde se observa a presença de estrutura acamadada em certas amostras. As principais formas de afloramento destas rochas são como lajedos nas drenagens ou como diques com espessuras métricas, que podem apresentar contatos bruscos (Figura 55), sinuosos (Figura 56) ou retilíneos (Figura 57)

com rochas da unidade andesítica máfica Santo Antônio (Figura 58). Frequentemente estas rochas ocorrem em barrancos muito alterados de coloração esbranquiçada (Figura 59) associada a corpos pegmatíticos (Figura 60).

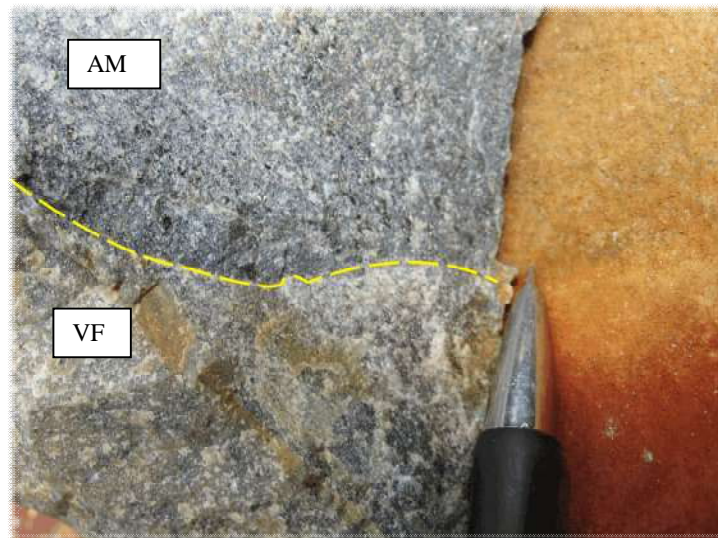


Figura 55 - Contato brusco entre rocha subvulcânica félsica afanítica da suíte félsica Tiradentes (VF) e rocha da unidade andesítica máfica Santo Antônio (AM). A forma do contato é evidenciada pelo tracejado amarelo. Ponto JU-87.

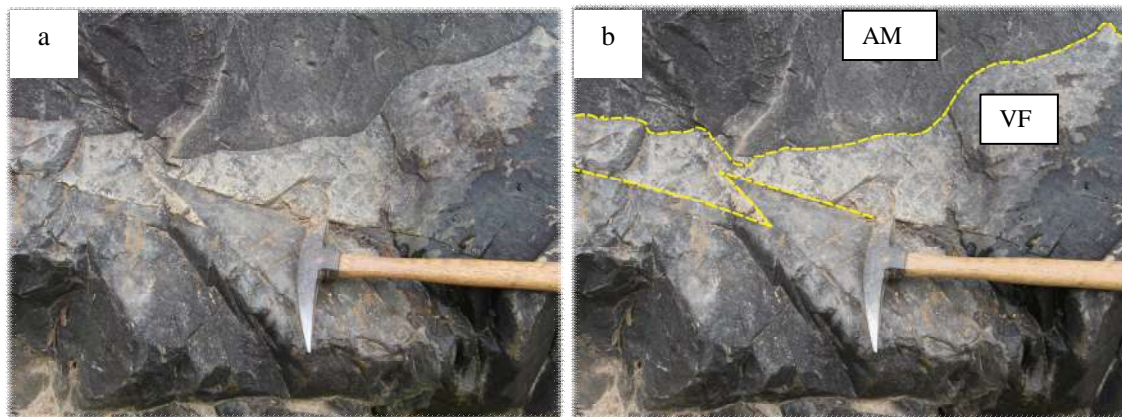


Figura 56 - Contato irregular entre rocha subvulcânica félsica afanítica da suíte félsica Tiradentes (VF) e rocha da unidade andesítica máfica Santo Antônio (AM). A forma do contato é evidenciada pelo tracejado amarelo (em b). Ponto JU-87.

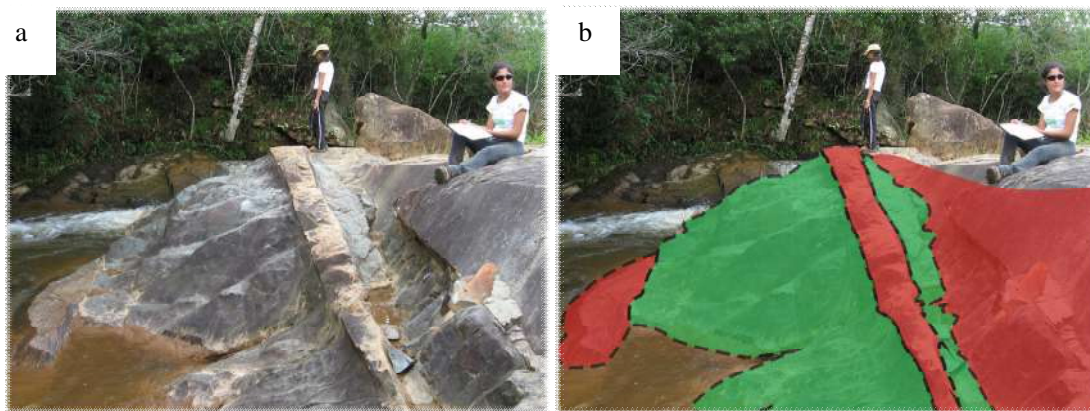


Figura 57 - Diques tabulares e retilíneos de rocha subvulcânica félsica afanítica da suíte félsica Tiradentes (cor vermelho em b) cortando as rochas andesíticas máficas Santo Antônio (cor verde em b). Ponto JU-87.

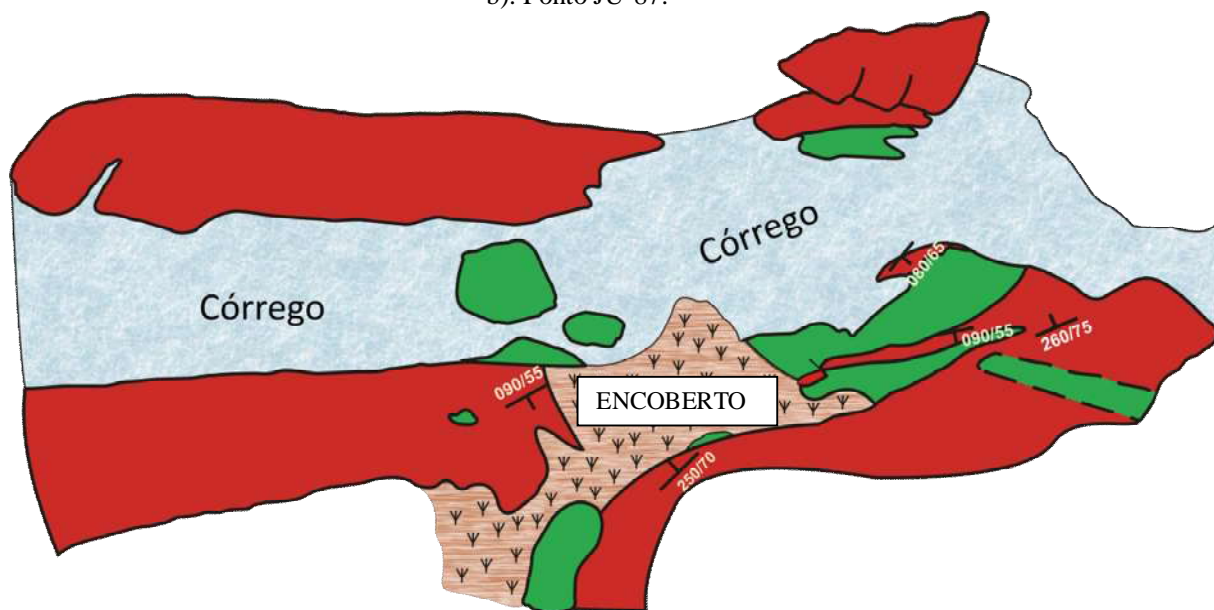


Figura 58 – Perfil do córrego Santo Antônio mostrando interação entre as rochas do andesito máfico Santo Antônio (em verde) e da suíte félsica Tiradentes (em vermelho).



Figura 59 – Saprólito típico das rochas vulcânicas e subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes.



Figura 60 – Pegmatito centimétrico com presença de intercrescimento gráfico. Estes corpos ocorrem associados com as intrusões félsicas tardias da região.

As rochas subvulcânicas faneríticas são equigranulares, porfiríticas, variam de finas a médias e foram mapeadas em três pequenos corpos, sob a forma de apófises e *stocks*, cortando muitas vezes tanto as rochas andesíticas máficas Santo Antônio (**Anexo I – Mapa geológico**), bem como apresentam, ainda, enclaves xenolíticos máficos (**Figura 61**). No decorrer dos trabalhos de campo, surgiu certa dúvida quanto à relação cogenética destas rochas com um corpo tonalítico que ocorre ao sul do Rio das Mortes (pontos iniciados pela sigla AN; **Anexo II – Mapa de pontos**). Contudo, cabe salientar que este tonalito possui índice de cor mais elevado, representado por até 10% de minerais máficos, bem como este apresenta foliação proeminente (**Figura 62**).

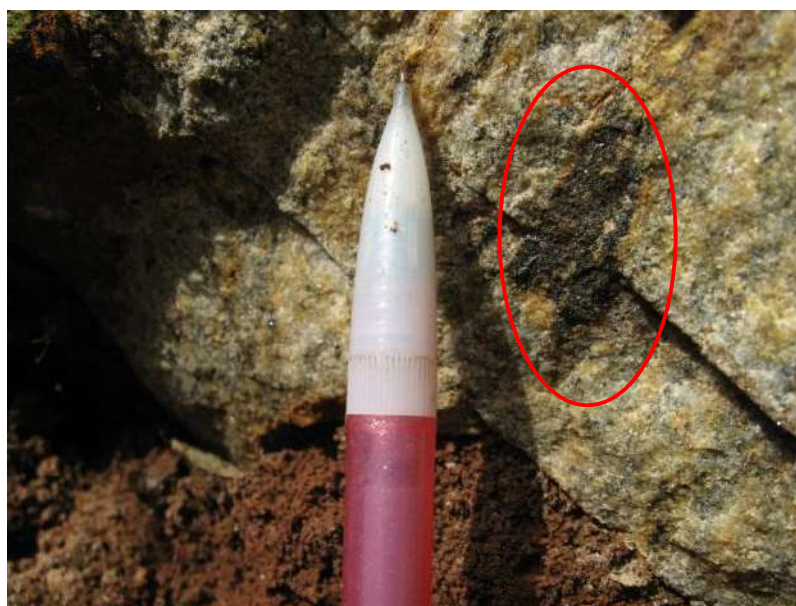


Figura 61 - Rocha félsica subvulcânica fanerítica da suíte félsica Tiradentes, contendo enclave xenolítico máfico envolvido pela elipse vermelha. Ponto JU-74.



Figura 62 - (a) Rocha félsica subvulcânica fanerítica da suíte félsica Tiradentes em comparação com (b) rocha tonalítica que ocorre a sul do Rio das Mortes, mais máfica e foliada.

Os saprólitos e os solos de coloração rosa - esbranquiçado são típicos representantes do processo de alteração intempérica das rochas vulcânicas e subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes, enquanto que o solo das rochas do andesito máfico Santo Antônio e do gabro Vitoriano Veloso tendem a ser vermelho – amarronzado (**Figura 63**). A mineralogia primária desta rocha é composta essencialmente por quartzo, plagioclásio, opacos, biotita₁, zircão e apatita, enquanto os minerais secundários das mesmas são biotita₂, titanita, mica branca, pistacita, clinozoizita, zoizita, allanita, sericita e clorita.

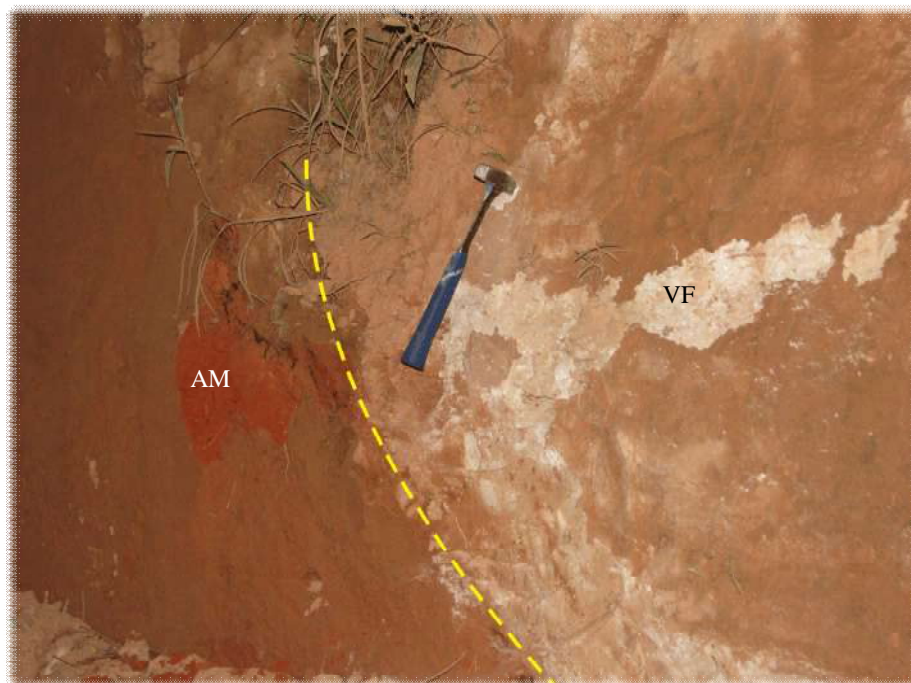


Figura 63 – Contato entre os saprólitos das rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas (VF – cor esbranquiçada) e andesito máfico (AM - cor vermelho – amarronzada).

8.2.2 - Aspectos Petrográficos

Cabe ressaltar que parte das rochas subvulcânicas faneríticas foram estudadas por Guerrero (2011), entretanto na presente monografia foram descritas algumas feições e texturas importantes para as conclusões finais, principalmente quanto à evolução geológica da área de estudo.

As rochas subvulcânicas faneríticas são hololeucocráticas, variam de equigranulares a porfiríticas, de faneríticas finas a médias e são compostas essencialmente por fenocristais de plagioclásio (45 a 78%) e por quartzo (55 a 22%), sendo classificadas no gráfico QAP como tonalitos em função da clara ausência de feldspato potássico. Em geral, os minerais acessórios mais comuns são apatita, allanita, biotita, minerais opacos, titanita e zircão, ocorrendo localizadamente fluorita. Cristais de clorita, sericita, titanita, rutilo, biotita, muscovita, sericita, minerais opacos, epidoto, zoisita e clinozoisita são minerais metamórficos e/ou hidrotermais. É importante ressaltar que as rochas da suíte félsica Tiradentes apesar de terem sido metamorfasadas, ainda preservam feições ígneas primárias.

8.2.2.1 – Feições Ígneas

As rochas subvulcânicas faneríticas fina a média da suíte félsica Tiradentes variam de hololeucocráticas a leucocráticas e são predominantemente equigranulares (Figura 64) e classificadas como tonalitos e/ou trondhjemitos (dacitos) com total ausência de feldspato potássico. Quanto à mineralogia acessória primária foram descritos biotita, zircão, apatita e opacos. Já no caso da mineralogia essencial, ocorre plagioclásio e quartzo.



Figura 64 - Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes com textura equigranular. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-69C.

Nos litotipos vulcânicos – subvulcânicos finos destacam-se nestas rochas diversos padrões texturais, representados por rochas porfíricas (Figura 65), glomeroporfíricas (Figura 66), esferulíticas (Figura 67), vacuolares (Figura 68), com intercrescimento granofírico (Figura 69), com fluxo magmático (Figura 70), e com manteamento de feldspato por *chessboard albite* (Figura 71) e estruturas acamadas (Figura 72). Todas as texturas citadas são feições primárias. Localizadamente as rochas félsicas faneríticas muito finas são foliadas, porfíricas (fenocristais de plagioclásio) e apresentam xenólitos de rochas máficas com formas desde subcirculares até angulosas (Figura 73).

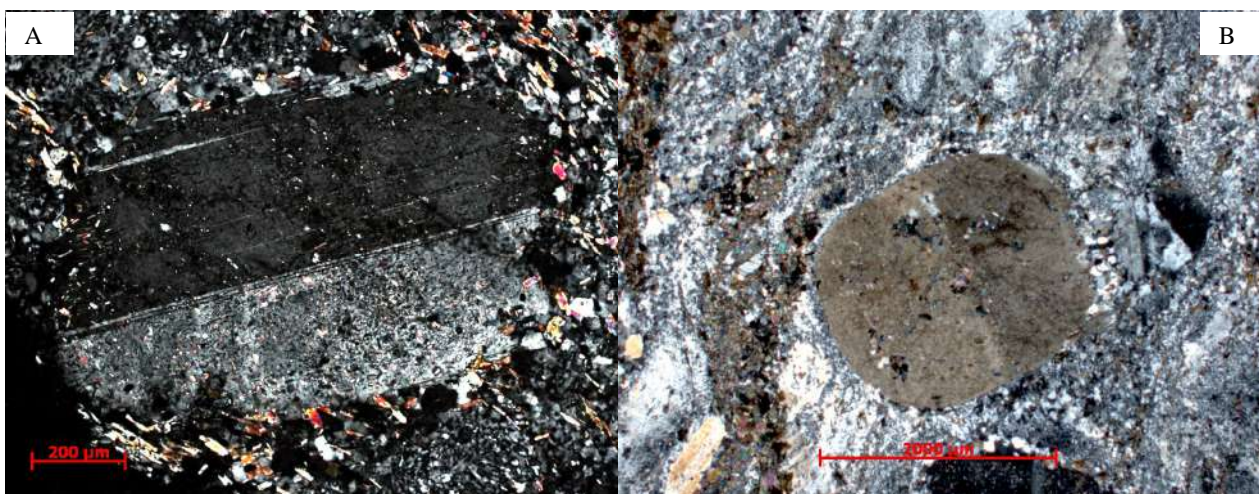


Figura 65 - Rocha vulcânica - subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes, com textura porfírica representada por fenocristal de plagioclásio com bordas fortemente corroídas. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87C1 (A) e JU-87J (B).

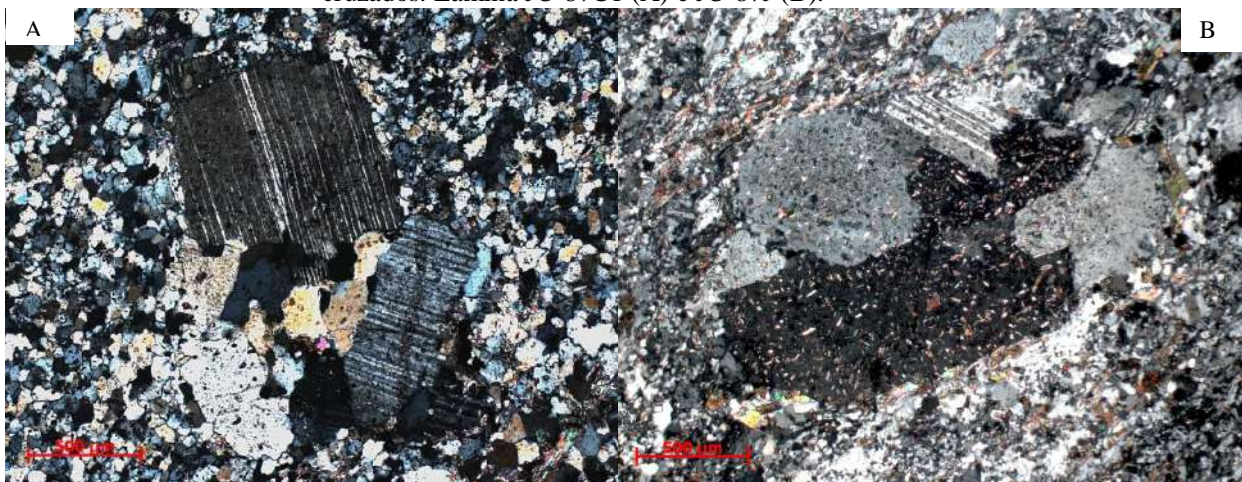


Figura 66 - Rocha vulcânica - subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com textura glomeroporfírica dada pela reunião de fenocristais de plagioclásio. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-31E (A) e JU-87A (B).

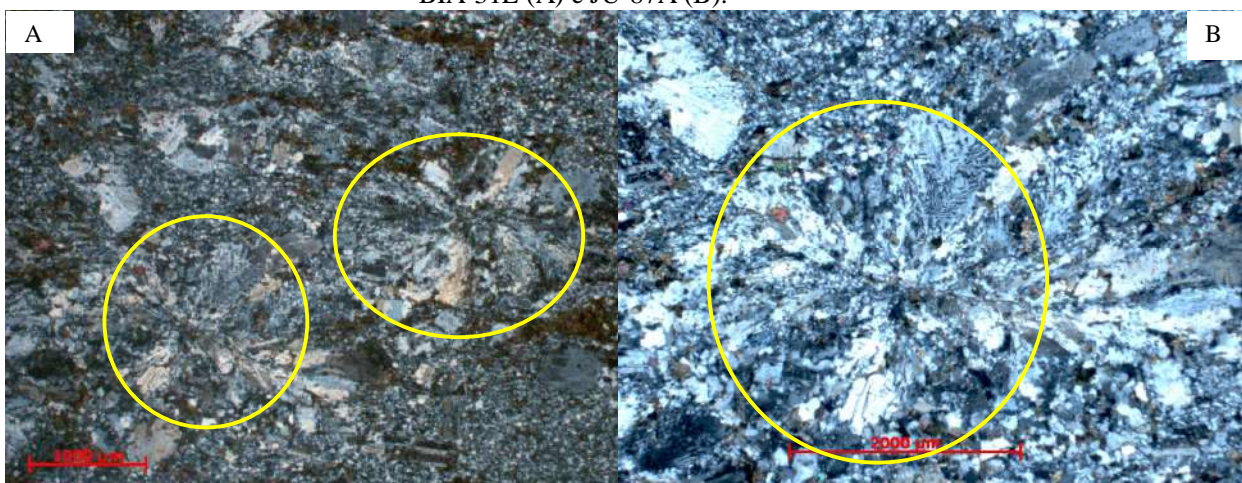


Figura 67 - Rocha vulcânica – subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes, com textura esferulítica (círculo amarelo), possivelmente resultado de um processo de devitrificação do magma. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-87F1 (A) e JU-87F (B).

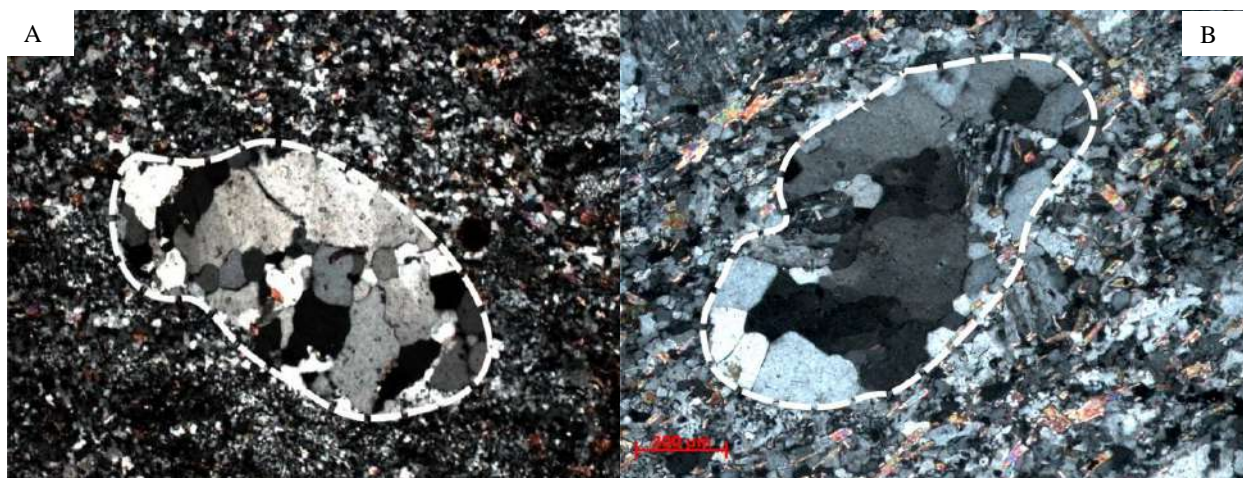


Figura 68 - Rocha vulcânica - subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com uma antiga vesícula (hoje amígdala) preenchida por quartzo (textura vacuolar). Lâmina BIA-87C (A) e JU-87F2 (B).

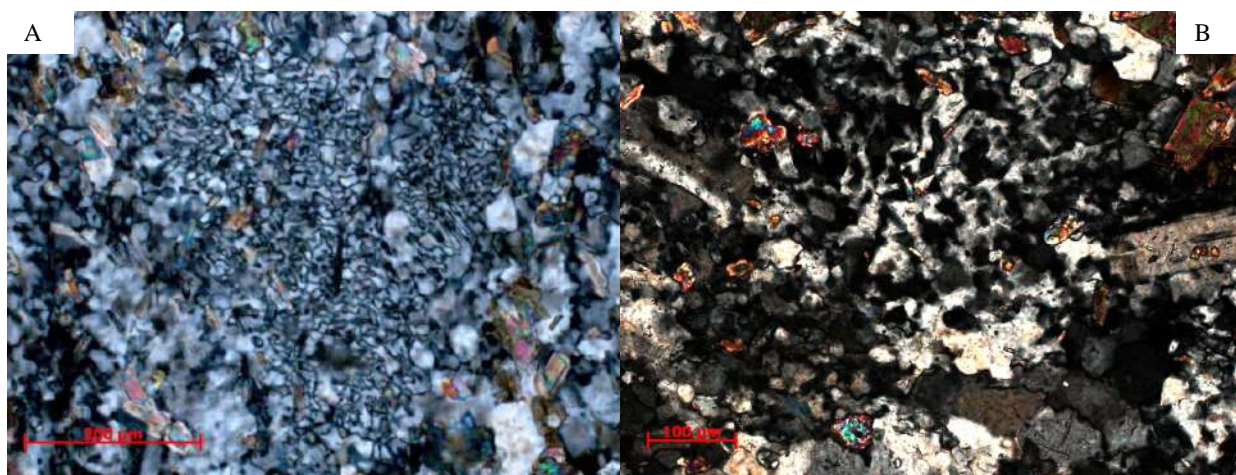


Figura 69 - Rocha vulcânica - subvulcânica da suíte félsica muito fina Tiradentes com textura granofírica, representada pelo intercrescimento de feldspato e quartzo. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87C1 (A) e JU-87A (B).



Figura 70 – Rocha vulcânica – subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com: textura de fluxo magmático dada pela orientação dos cristais de plagioclásio em meio a uma matriz muito fina e estrutura de acamamento dada pela variação de granulação. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87F2.

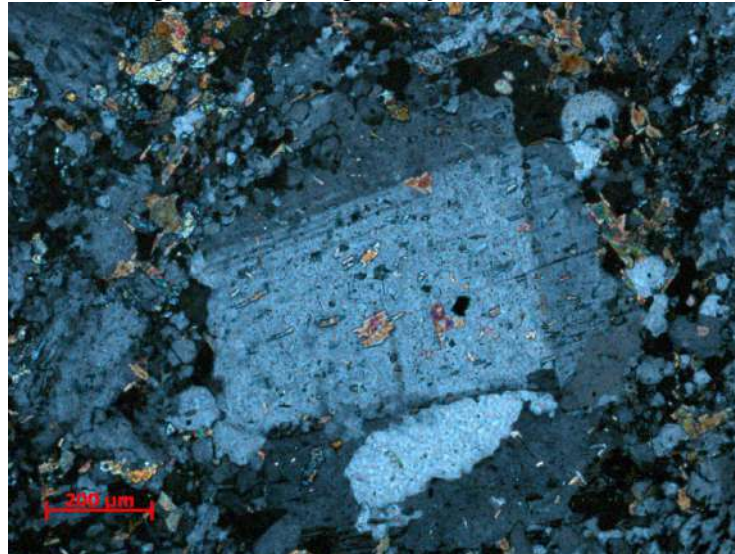


Figura 71 – Rocha vulcânica – subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com textura de sobrecrecimento no plagioclásio (interpretada como possível *chessboard albite*). Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87F1.

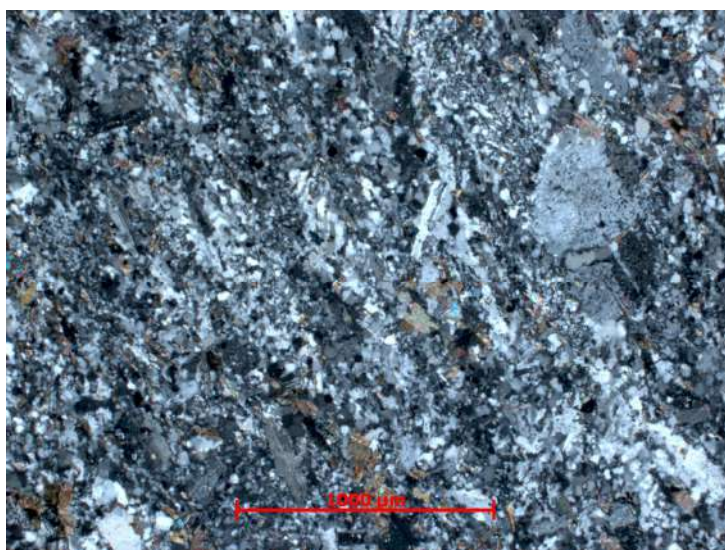


Figura 72 – Rocha vulcânica – subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com camadas mostrando variação na granulação. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87A.

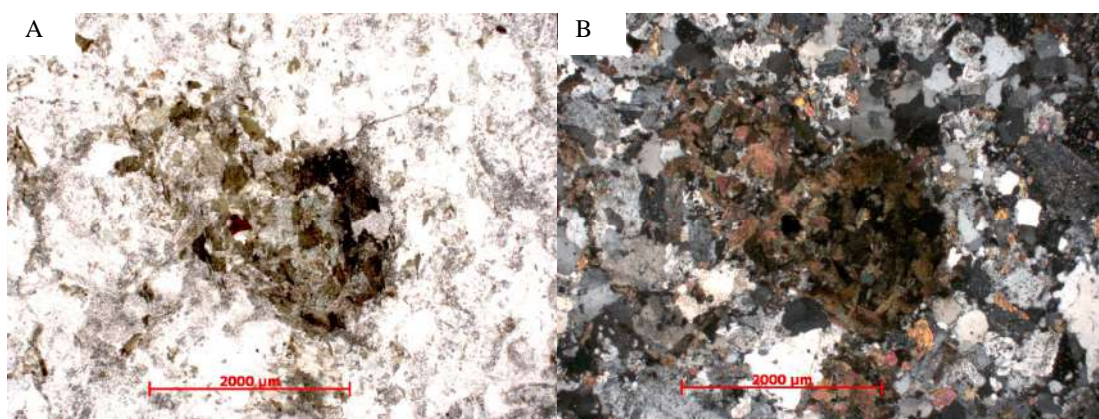


Figura 73 - Rocha vulcânica – subvulcânica muito fina da suíte félsica Tiradentes com aglomerados de minerais máficos, com formas desde subcirculares até angulosas, interpretados como enclave xenolítico da rocha máfica encaixante. Polarizadores paralelos (A) e cruzados (B). Lâmina BIA 73J.

Os cristais de plagioclásio apresentam inclusões de zircão, ocorrem com formas idiomórficas ou estão arredondados por corrosão de suas bordas. Em sua grande maioria, estão orientados formando textura de fluxo magmático (Figura 74), sendo que muitos cristais apresentam zonamento oscilatório e estão sobrecrecidos por albita (Figura 75). Outra feição primária observada nessas rochas corresponde à presença de quartzo ocupando o espaço intersticial entre os cristais de plagioclásio (Figura 76). Ocorrem ainda pelo menos duas gerações de biotita com gêneses diferentes: uma primária (Figura 77); e outra secundária que cresce nas bordas dos grãos primários. Além disso, em algumas amostras, o plagioclásio apresenta reentrâncias em suas bordas, formando baías atribuídas à corrosão magmática (Figura 78).



Figura 74 – Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes com textura de fluxo, dada pela orientação dos cristais de plagioclásio em meio a uma matriz muito fina. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87I.

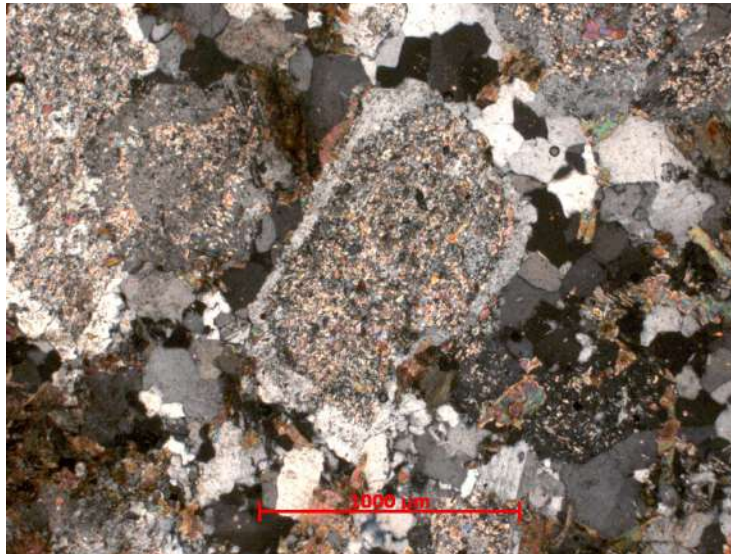


Figura 75 - Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes com plagioclásio primário (parte alterada para sericita) com sobrecrecimento de albita (parte límpida). Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-73F.

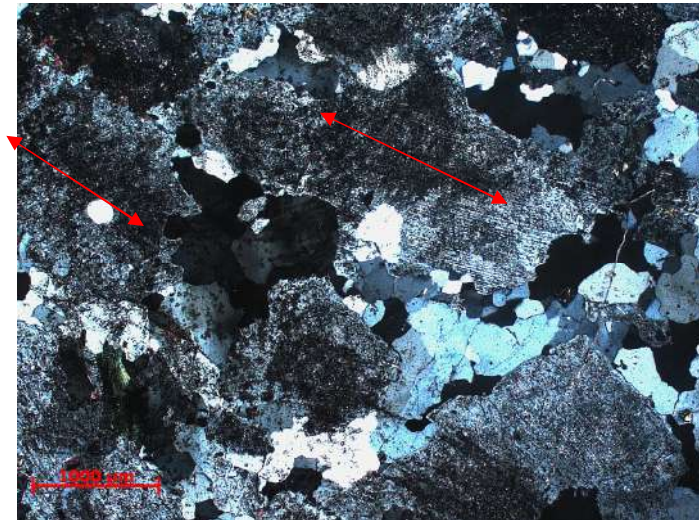


Figura 76 – Rocha subvulcânica fina a média da suíte félsica Tiradentes com quartzo intercumulático e plagioclásio orientado por fluxo magmático e intensamente alterado. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-73I.

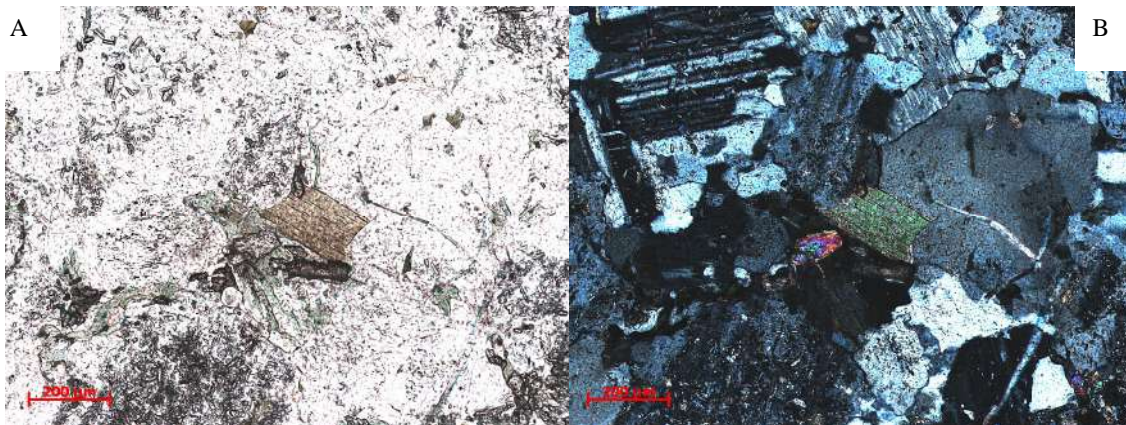


Figura 77 - Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes. Destaque para a biotita primária euédrica presente entre os cristais de plagioclásio e quartzo. Polarizadores paralelos (A) e cruzados (B). Lâmina BIA-73J.

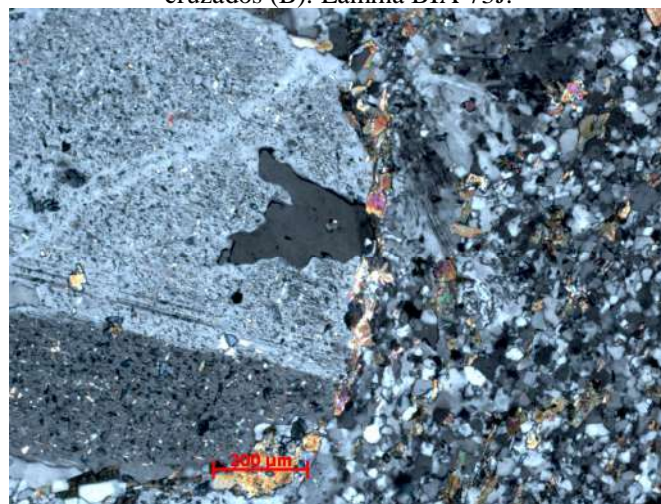


Figura 78 - Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes com embaimento de fenocristal de plagioclásio por quartzo, feição claramente associada a um processo de corrosão magmática. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87F.

8.2.2.2 - Feições Metamórficas - Hidrotermais

Como minerais metamórficos - hidrotermais foram identificados biotita₂, muscovita, titanita, pistacita, allanita, epidoto, clinozoizita, zoizita, sericita e clorita. Neste sentido, o plagioclásio encontra-se fortemente modificado por processos secundários como saussuritização, muscovitização, sericitização e epidotização (Figuras 64, 75, 76, 79 e 80).



Figura 79 - Rocha subvulcânica fanerítica fina da suíte félsica Tiradentes. Cristal de plagioclásio levemente sericitizado e epidotizado. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-103.



Figura 80 - Rocha vulcânica – subvulcânica fina suíte félsica Tiradentes. Cristal de plagioclásio fortemente alterado para muscovita e sericita. Polarizadores cruzados. Lâmina BIA-60.

Muitas vezes a biotita primária está sendo transformada para clorita e muscovita (Figura 81). Já a biotita₂ (secundária), ocorre frequentemente associada com cristais de epidoto (Figura 82) e titanita.

Em algumas rochas é possível de se observar que o processo de deformação ficou melhor preservado, principalmente a partir da recristalização de grãos de quartzo (Figura 83).

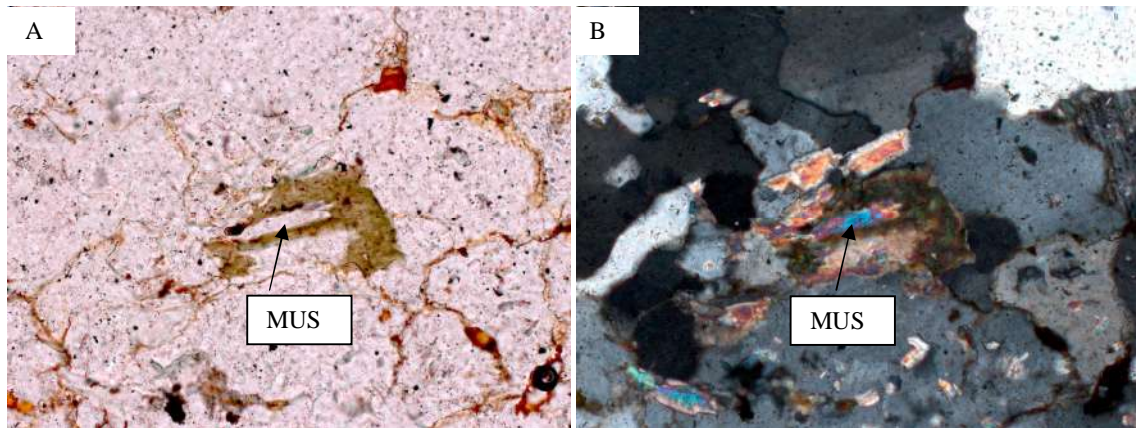


Figura 81 - Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes. Biotita parcialmente substituída por muscovita (MUS). Polarizadores paralelos (A) e cruzados (B). Lâmina BIA-66A

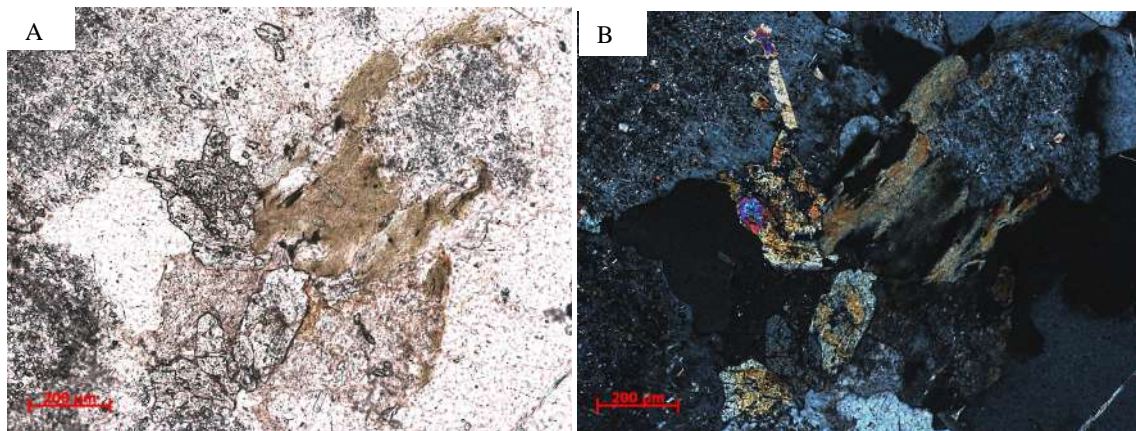


Figura 82 - Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte félsica Tiradentes. Biotita₂ associada a uma massa de cristais de epidoto. Polarizadores paralelos (A) e cruzados (B). Lâmina BIA-73I.



Figura 83 - Rocha vulcânica – subvulcânica da suíte fêlsica Tiradentes com quartzo com extinção ondulante recrystalizado. Polarizadores cruzados. Lâmina JU-87A.

É importante destacar as seguintes associações metamórfica/hidrotermal. Associação metamórfica/hidrotermal I é composta pelos seguintes minerais: epidoto + biotita₂ ± titanita ± zoizita ± clinozoizita ± allanita. Já a associação metamórfica/hidrotermal II (**Figura 84**) é constituída pelos seguintes minerais: epidoto + mica branca ± clorita ± zoizita ± clinozoizita ± allanita.

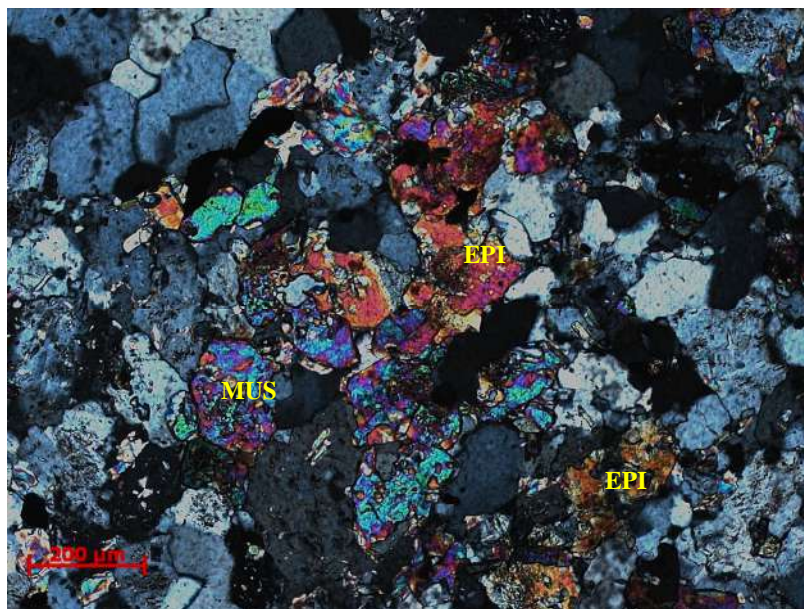


Figura 84 - Aglomerados metamórficos/hidrotermais de epidoto + mica branca. Lâmina BIA-70.

Também foi observada uma relação entre as duas associações. A associação II, composta por epidoto, mica branca, clorita, zoizita, clinozoizita e allanita, ocorre

frequentemente cortando a associação I que é constituída por epidoto, biotita₂, titanita, zoizita, clinozoizita e allanita (Figura 85).

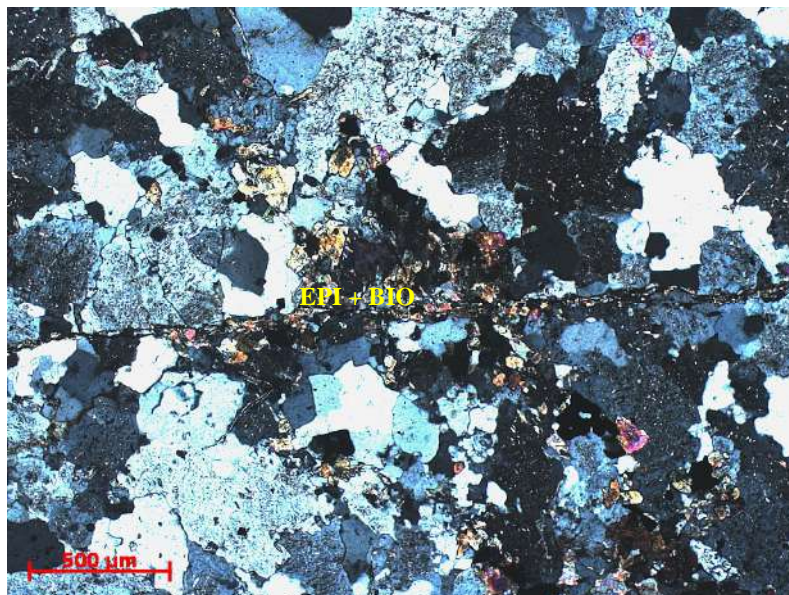


Figura 85 - Veio de epidoto + clorita (ass.II) cortando aglomerado de biotita₂ + epidoto (ass.I) Biotita₂ é substituída por clorita e mica branca. BIA-101B.

8.3.4 – Geoquímica

Para a caracterização geoquímica das rochas da suíte félsica Tiradentes foram utilizadas dezesseis amostras, dentre estas dez pertencentes às rochas vulcânicas e subvulcânicas afaníticas, seis dos corpos subvulcânicos faneríticos. Foram, ainda, analisadas duas amostras de um corpo tonalítico que ocorre ao sul do Rio das Mortes (pontos com sigla AN - Tabelas 7 e 8).

A norma CIPW foi calculada a partir do *software* GCDkit (Tabela 8) e nela podemos destacar o alto percentual de albita (acima de 36%), enquanto a anortita varia entre 3 a 14% e o ortoclásio entre 1 a 9%, mostrando que o magma precursor seria cálcio-alcalino rico em Na₂O, contrastando com magmas cálcico – alcalinos ricos em K₂O.

Em termos gerais, a suíte félsica Tiradentes apresenta conteúdo de SiO₂ variando de 70,18 a 76,96% em peso e de Al₂O₃ entre 12,52 e 14,74% em peso. Cabe ainda destacar os baixos conteúdos de TiO₂ (entre 0,14 e 0,54% em peso), CaO (0,61 a 3,99% em peso), FeO_t + MgO (entre 1,92 e 4,40% em peso), de K₂O (0,18 a 1,57% em peso), Rb (1 a 34 ppm) e Sr (13 a 444,30 ppm) e elevados valores de Na₂O (4,27 a 6,48% em peso) e de Y em algumas amostras.

No diagrama TAS as rochas em questão plotam todas no campo dos riolitos (Figura 86) devido ao seu elevado conteúdo em SiO_2 . Porém no diagrama triangular de feldspato normativo An–Ab–Or de O'Connor (1965), estas posicionam-se no campo dos trondhjemitos e mais raramente no dos tonalitos (Figura 87), pois as mesmas são empobrecidas em K_2O e CaO em relação ao Na_2O . No diagrama de Shand (1943), que reflete o índice de alumino - saturação, as amostras estudadas variam amplamente desde metaluminosas a peraluminosas (Figura 88).

Em relação à filiação do magma a partir do qual cristalizaram as rochas estudadas, pode-se classificá-lo como subalcalino no diagrama $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$ (Figura 89). Porém estas rochas possuem afinidade cálcio – alcalina ou trondhjemitica, pois não apresentam enriquecimento em FeO típico da série toleítica (Figura 90). Por apresentar enriquecimento final em Na_2O a tendência desse magma pode ser considerada como trondhjemitica, ao contrário dos magmas cálcio-alcalinos, que tendem a se enriquecerem em K_2O nos termos finais da cristalização (Figura 91).

Quanto ao ambiente de formação das rochas estudadas pode-se afirmar a partir do conteúdo de Al_2O_3 de que as mesmas são trondhjemitos de baixo alumínio (Figura 92), o que é corroborado pelo diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Yb}$, onde duas amostras com ETR analisados plotam no campo dos trondhjemitos de baixo Al_2O_3 ou oceânicos (Figura 93). Em relação ao diagrama logarítmico $\text{Y}+\text{Nb} \times \text{Rb}$ (Figura 94) se observa que as amostras estudadas estão associadas principalmente a ambiente de arco vulcânico, porém com enriquecimento bastante acentuado em Y, o que pode estar relacionado à presença de xenotímio ou outra fase que retenha esse elemento nas mesmas. O padrão de ETR das rochas vulcânicas – subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes apresenta elevado conteúdo de ETRL e ETRP e pronunciada anomalia negativa de Eu (Figura 95), indicando que o plagioclásio foi uma das fases retidas na fonte dos mesmos.

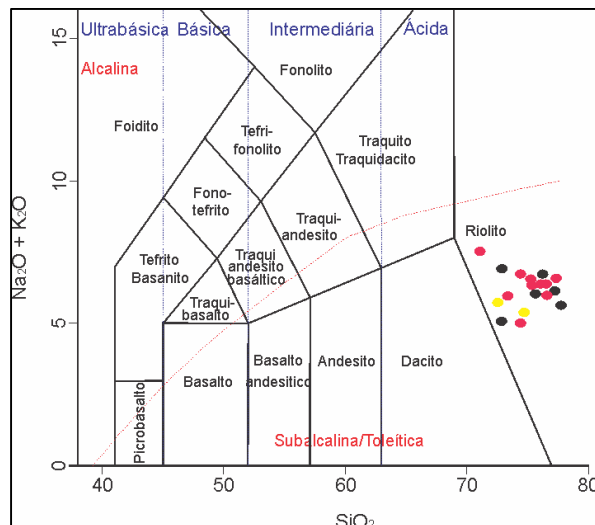


Figura 86 - Diagrama discriminante $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$ (Le Bas, 1986) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo)..

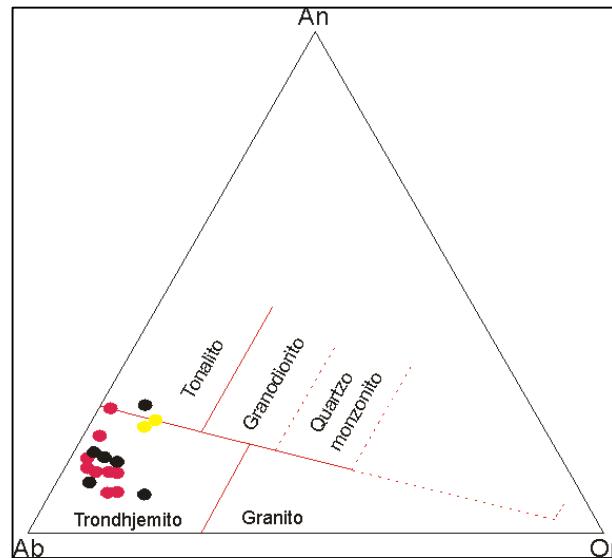


Figura 87 - Diagrama discriminante An-Ab-Or (O' Connor, 1965) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto), e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo)..

Tabela 7 - Resultados geoquímicos de elementos maiores (% peso), menores (% peso) e traços (ppm) das rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas e faneríticas da suíte fêlsica Tiradentes e de um tonalito que aflora a sul do Rio das Mortes. Legenda: - = teores abaixo dos níveis de detecção; N.A. = não analisados.

AMOSTRA	JU-871A	JU-87C1	JU-87F1	JU-87F2	JU-87H	JU-87J	BIA-40A	BIA-60B	BIA-31D	BIA-31E	JU-74A	JU-74B	JU-109E	JU-110B	JU-110C	JU-129	AN-116A	AN-115A
Rocha	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. fan.	vulc. fan.	vulc. fan.	vulc. fan.	vulc. fan.	vulc. fan.	ton.R.M	ton. R.M.
	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Laboratório	USP	USP	USP	USP	USP	USP	UFRJ	UFRJ	UFRJ	UFRJ	USP	USP	USP	USP	USP	USP	UFRJ	UFRJ
SiO ₂	73,39	75,36	70,18	74,57	72,28	74,63	74,30	76,56	76,96	76,33	75,26	75,19	71,57	75,57	72,04	76,96	74,34	71,84
TiO ₂	0,22	0,20	0,23	0,20	0,23	0,20	0,17	0,22	0,21	0,15	0,22	0,22	0,33	0,14	0,31	0,19	0,22	0,54
Al ₂ O ₃	13,09	12,90	14,74	13,02	13,63	12,92	13,95	13,45	13,17	12,52	12,67	13,14	12,80	12,91	14,34	12,81	14,09	14,32
Fe ₂ O ₃	2,22	2,32	3,28	2,49	2,26	2,30	2,68	2,49	2,36	2,65	2,85	3,39	3,88	1,23	2,81	1,80	2,37	3,25
MnO	0,03	0,06	0,08	0,06	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,07	0,09	0,05	0,02	0,05	0,03	0,05	0,05
MgO	0,99	0,21	0,63	0,33	0,56	0,33	0,08	0,20	0,22	0,03	0,11	0,03	0,52	0,35	0,36	0,12	0,38	0,76
CaO	3,49	1,50	2,06	1,79	3,54	2,19	1,70	0,83	0,88	0,61	0,88	1,14	3,99	1,96	2,00	1,39	2,56	2,56
Na ₂ O	4,74	5,40	6,48	5,86	5,50	5,76	6,20	4,98	5,38	6,30	5,04	5,49	4,27	5,57	6,14	4,76	4,29	4,69
K ₂ O	0,19	0,94	0,91	0,63	0,34	0,42	0,49	1,00	1,02	0,18	1,57	0,57	0,70	0,41	0,71	0,82	1,02	0,98
P ₂ O ₅	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,06	0,02	0,05	0,03	0,06	0,10
P.F.	0,80	0,42	0,36	0,30	0,66	0,30	0,30	0,30	0,25	0,68	0,70	0,62	0,86	0,70	0,52	1,10	0,56	0,66
Total	99,20	99,34	99,01	99,29	99,08	99,13	99,92	100,08	100,49	99,48	99,38	99,89	99,03	98,89	99,33	100,00	99,94	99,74
S	-	-	-	-	-	636,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	75	547	617	475	176	226	871	548	982	759	74	585	372	277	495	551	534	736
Rb	4	17	16	12	7	1	21	34	21	19	9	7	21	8	12	14	29	22
Sr	162	86	123	107	166	13	232	117	109	117	58	97	444	129	243	113	192	329
Zr	23	26	292	263	264	268	298	252	413	414	290	316	510	110	278	253	192	368
Nb	13	14	13	13	13	13	20	32	34	34	-	-	-	9	9	11	-	9
Ni	35	12	21	27	26	26	N.A.	7	3	4	-	-	-	5	N.A.	N.A.	-	N.A.
Co	58	28	4	53	52	49	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	57	32	38	70	42	48	-	N.A.
Zn	2	43	73	52	19	24	23	43	49	39	62	40	20	9	35	20	39	67
Cr	55	N.A.	23	7	3	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	6	58	61	6	6	59	5	103	95	61	53	37	16	8	31	56	12	12
Hf	6	7	N.A.	N.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	N.A.	N.A.	-	-	-	-
Th	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N.A.	12	-	-	-	-
Pb	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	N.A.	-	-	12	

Tabela 7 – (cont.) Resultados geoquímicos de elementos maiores (% peso), menores (% peso) e traços (ppm) das rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas e faneríticas da suíte fêlsica Tiradentes e de um tonalito que aflora a sul do Rio das Mortes. Legenda: - = teores abaixo dos níveis de detecção; N.A. = não analisados.

Ga	14	17	21	17	15	16	17	15	2	19	17	19	20	15	19	17	18	17
Cu	59	N.A.	N.A.	N.A.	105	21	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	11	58	13	N.A.	30	100	21
V	13	N.A.	9	N.A.	22	9	47	52	47	46	12	N.A.	18	12	N.A.	N.A.	23	27
U	1	1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	4	5	N.A.	N.A.	3	4	N.A.	N.A.

Tabela 8 - Resultados geoquímicos de elementos terras raras (ppm) e norma CIPW das rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas e faneríticas da suíte fêlsica Tiradentes. Legenda: Q = quartzo; C = córindon; Or = ortoclásio; Ab = albita; An = anortita; Di = diopsídio; Hy = hiperstênio; Il = ilmenita; Hm = hematita; Tn = titanita; Ru = rutilo; Ap = apatita e; Pr = pirita.

AMOSTRA	JU-871A	JU-87C1	JU-87F1	JU-87F2	JU-87H	JU-87J	BIA-40A	BIA-60B	BIA-31D	BIA-31E	JU-74A	JU-74B	JU-109E	JU-110B	JU-110C	JU-129	AN-116 ^a	AN-115A
Rocha	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. afan.	vulc. fan.	vulc. fan.	vulc. fan.	vulc. fan.	vulc. fan.	vulc. fan.	ton. P.G.	ton. P.G.
	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Laboratório	Acme	Acme	USP	USP	USP	USP	UFRJ	UFRJ	UFRJ	UFRJ	USP	USP	USP	USP	USP	USP	UFRJ	UFRJ
La	33,60	26,10	32,00	29,00	31,00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	35,10	50,10	29,40	27,50	33,20	N.A.	N.A.
Ce	77,20	59,10	N.A.	55,00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	91,90	63,70	58,60	52,20	N.A.	-N.A.
Pr	9,74	7,35	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Nd	39,10	29,60	28,00	35,00	28,00	3,00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	35,60	N.A.	15,90	N.A.	N.A.	N.A.
Sm	8,49	6,62	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Eu	1,17	1,18	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Gd	8,44	7,02	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Tb	1,41	1,26	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Dy	9,14	8,53	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Ho	2,13	2,08	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Er	5,98	5,84	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Tm	0,93	0,93	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Yb	6,36	6,31	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Lu	0,97	0,96	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
NORMA CIPW																		
Q	36,93	36,93	24,11	34,13	31,93	34,97	32,97	41,76	39,62	37,64	37,92	38,64	36,12	37,07	28,96	43,05	39,61	34,46

Tabela 8 - Resultados geoquímicos de elementos terras raras (ppm) e norma CIPW das rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas e faneríticas da suíte félsica Tiradentes. Legenda: Q = quartzo; C = córindon; Or = ortoclásio; Ab = albita; An = anortita; Di = diopsídio; Hy = hiperstênio; Il = ilmenita; Hm = hematita; Tn = titanita; Ru = rutilo; Ap = apatita e; Pr = pirita.

C	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	2,72	1,67	0,87	1,11	1,46	0,00	0,00	0,00	1,63	1,42	1,12
Or	1,12	5,56	5,38	3,72	2,01	2,48	2,87	5,91	6,00	1,07	9,28	3,37	4,14	2,42	4,20	4,85	6,03	5,79
Ab	40,11	45,69	54,83	49,57	46,54	48,74	52,50	42,12	45,52	53,33	42,65	46,46	36,13	47,13	51,96	40,28	36,30	39,69
An	13,88	7,21	8,44	7,36	11,50	8,16	8,29	3,96	4,23	2,98	4,28	5,54	13,69	9,01	9,47	6,73	12,30	12,07
Di	2,00	0,00	0,73	0,63	3,01	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Wo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hy	1,54	0,52	1,23	0,53	0,00	0,19	0,19	0,51	0,56	0,08	0,27	0,08	0,00	0,81	0,90	0,30	0,95	1,89
Il	0,07	0,12	0,17	0,13	0,08	0,00	0,04	0,06	0,06	0,56	0,15	0,19	0,11	0,05	0,10	0,05	0,10	0,10
Hm	2,22	2,32	3,28	2,49	2,26	2,30	2,68	2,49	2,36	2,65	2,85	3,39	3,88	1,23	2,81	1,80	2,37	3,25
Tn	0,45	0,00	0,35	0,33	0,46	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,29	0,07	0,00	0,00	0,00
Ru	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,18	0,17	0,12	0,13	0,12	0,00	0,00	0,23	0,16	0,17	0,49
Ap	0,08	0,09	0,13	0,09	0,10	0,09	0,06	0,06	0,05	0,01	0,03	0,04	0,13	0,05	0,13	0,06	0,15	0,23
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Som	98,40	98,92	98,65	98,99	98,42	98,87	99,93	99,78	100,24	98,80	98,68	99,28	98,17	98,19	98,81	98,90	99,38	99,09

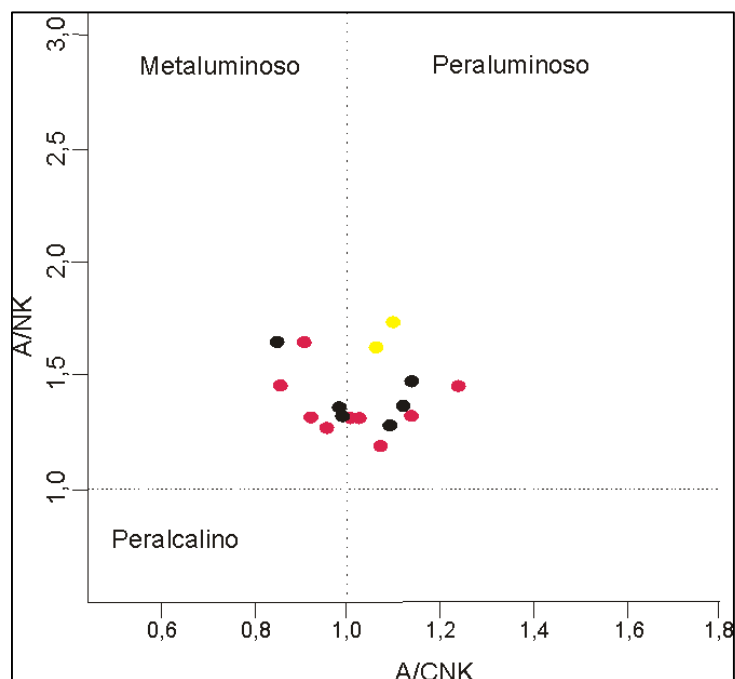


Figura 88 - Diagrama discriminante A/NK x A/CNK (Maniar & Piccoli, 1989) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto), e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo). $\text{A/NK} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ em mol; $\text{A/CNK} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ em mol.

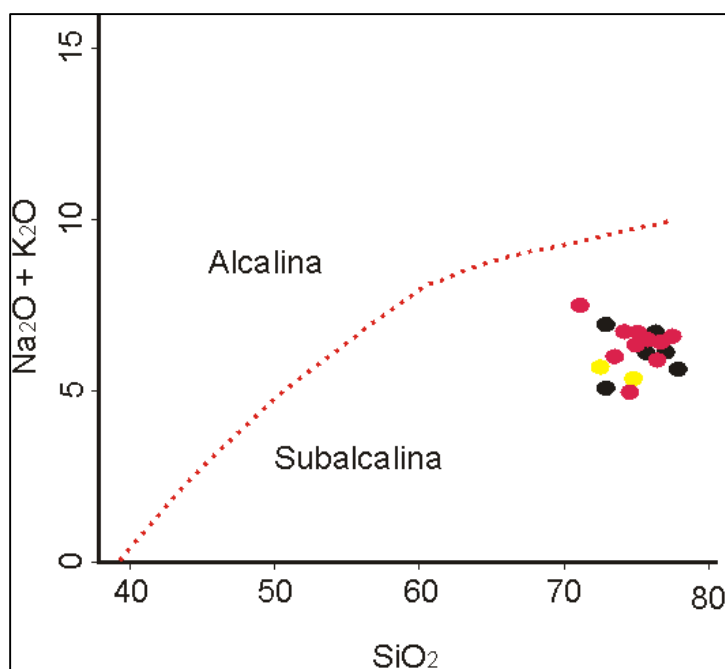


Figura 89 - Diagrama discriminante $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ x SiO_2 (Irvine & Baragar, 1971) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo)..

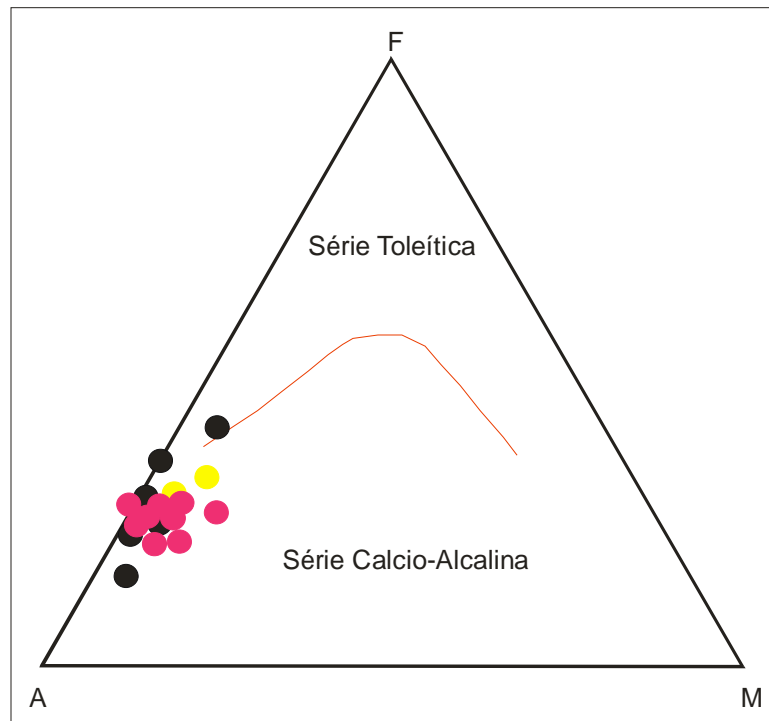


Figura 90 - Diagrama discriminante AFM (Irvine & Baragar, 1971) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo).
A = Na₂O + K₂O; F = FeO + 0,9Fe₂O₃; M = MgO.

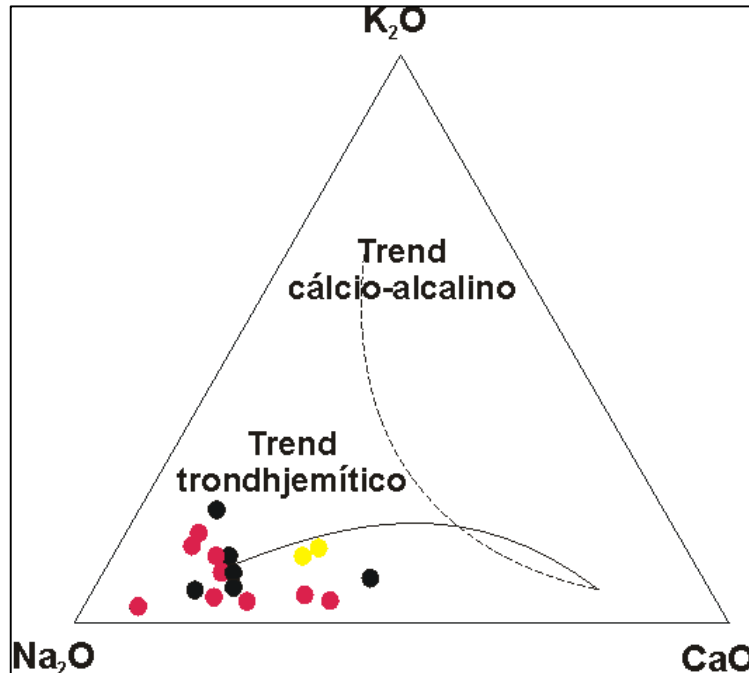


Figura 91 - Diagrama discriminante K₂O x Na₂O x CaO (Barker & Arth, 1976) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo).

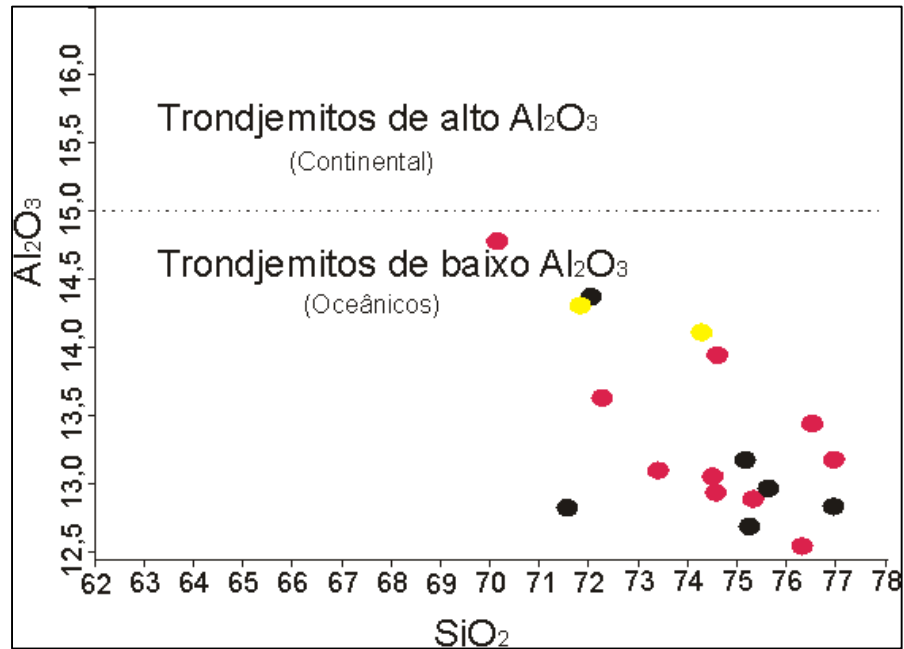


Figura 92 - Diagrama discriminante $\text{SiO}_2 \times \text{Al}_2\text{O}_3$ (Barker, 1979) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo).

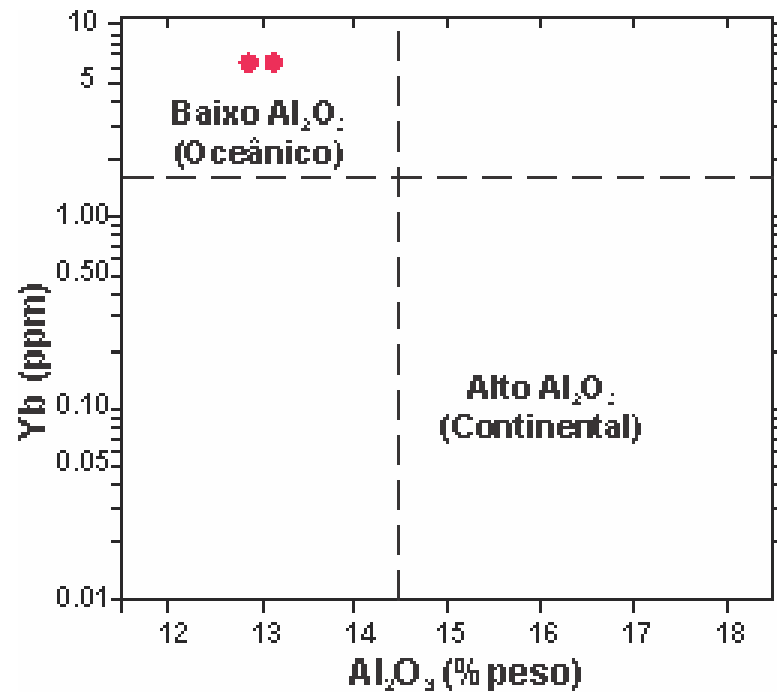


Figura 93 - Diagrama discriminante $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Yb}$ (Arth, 1979) para duas rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho).

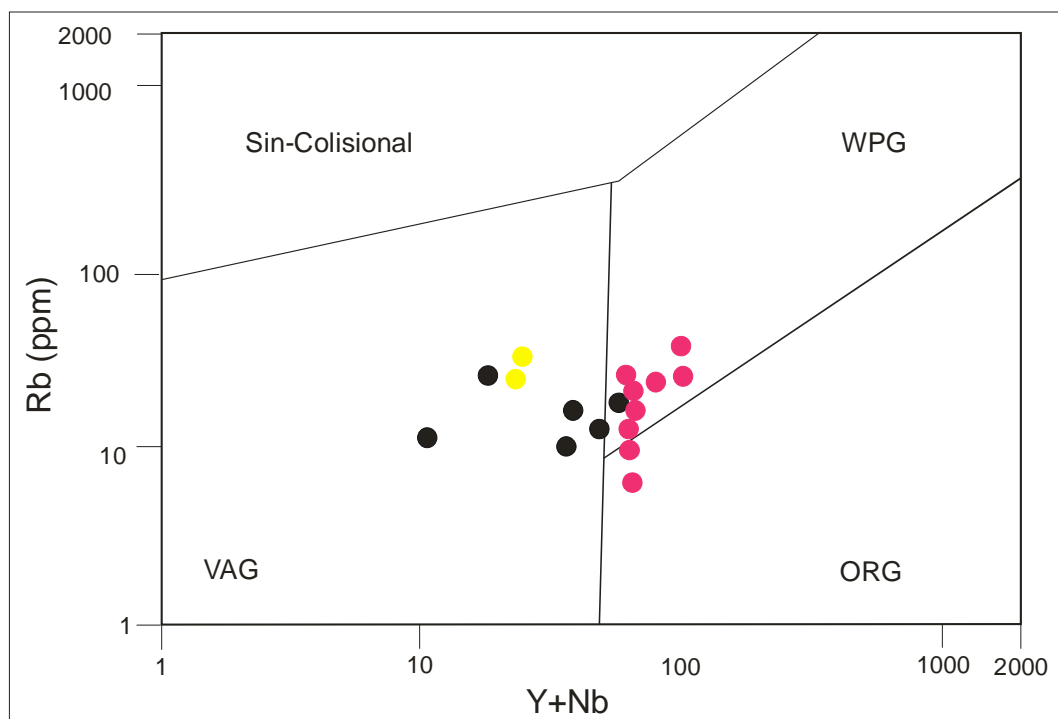


Figura 94 - Diagrama discriminante (Y+Nb) x Rb (Pearce *et al.*, 1984) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas afaníticas da suíte félsica Tiradentes (círculo vermelho), para rochas subvulcânicas faneríticas da suíte félsica Tiradentes (círculo preto) e para tonalitos dos pontos AN (círculo amarelo). WPG = granitos intraplaca, VAG = granitos de arco vulcânico, ORG = granitos de cordilheira oceânica.

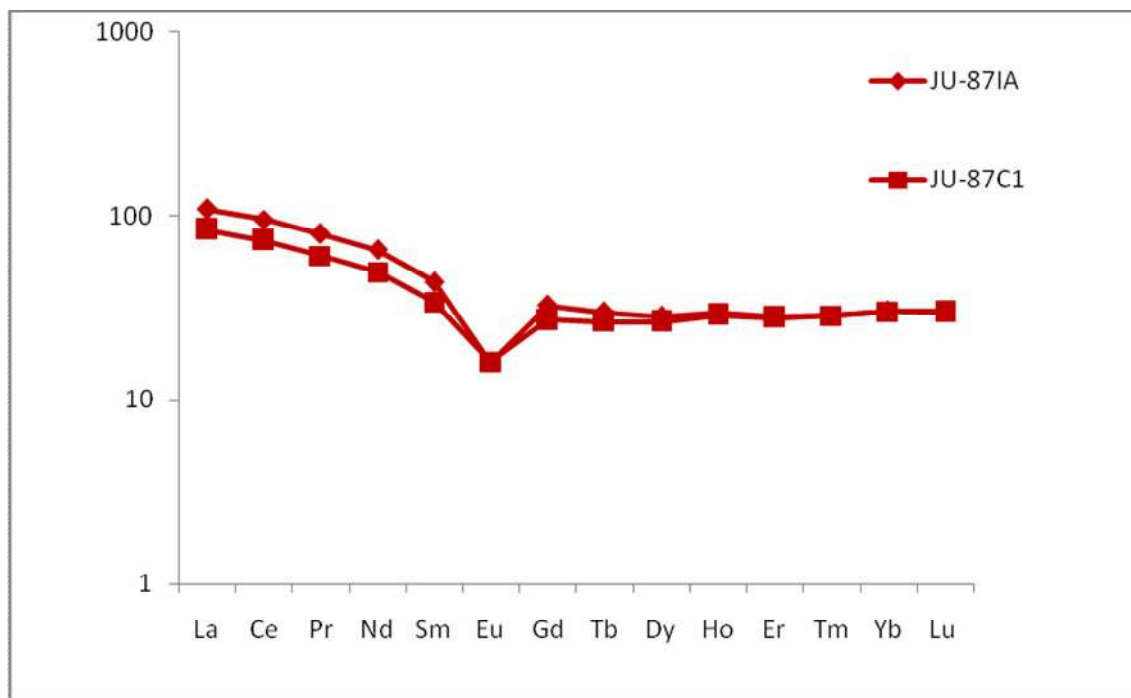


Figura 95 - Diagrama dos elementos terras raras normalizado pelo condrito de Boynton (1984) para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes.

8.4 – GABRO VITORIANO VELOSO

A unidade descrita como gabro Vitoriano Veloso será abordada de forma simplificada, pois corresponde ao tema central da monografia desenvolvida por Guerrero (2011), sob orientação do professor Ciro Alexandre Ávila.

8.4.1 – Aspectos de Campo

O gabro Vitoriano Veloso está localizado na porção leste do mapa confeccionado (Anexo I - Mapa geológico) e compreende um conjunto de rochas máficas como diabásio, gabro fino, gabro médio e gabro grosso (Figura 96). O seu limite oeste é controlado por uma falha inferida, que coloca suas rochas em contato com o andesito máfico Santo Antônio, enquanto a norte o contato é com as rochas das megasequências São João del Rei e Carandaí a partir da Serra de São José. O seu contato ao sul é limitado por três diferentes corpos ígneos plutônicos (quartzodiorito Dores de Campos, tonalito Brejo Alegre e um tonalito subvulcânico fanerítico correlacionado a suíte félsica Tiradentes), enquanto a leste, a área mapeada não foi suficiente para definir com que rocha este corpo fez contato.



Figura 96 - Variação na granulação das rochas das diferentes fácies do gabro Vitoriano Veloso. Na esquerda fácies diabásio e na direita fácies gabro grosso.

Em mapa, esta unidade tende a aumentar de granulação em direção ao sul (da fácies diabásio para a fácies gabro médio – Guerrero, 2011), onde os contatos foram baseados na predominância de cada faciologia no afloramento. Foram ainda identificados, duas ocorrências localizadas de rochas gabróides de granulação grossa (fácies gabro grosso) na porção oeste do mapa (Anexo I – Mapa geológico).

As rochas das fácies diabásio e das diferentes fácies gabróicas são faneríticas, equigranulares ou inequigranulares, variam de mesocráticas a melanocráticas e sua

mineralogia essencial é composta por plagioclásio, hornblenda e minerais opacos, incluindo óxidos (magnéticos ou não) e sulfetos, como pirita e calcopirita.

Apesar das rochas do gabro Vitoriano Veloso terem sido metamorfisadas, é importante frisar que, estas ainda preservam feições ígneas primárias, como a variação na granulação e a orientação do eixo maior de cristais tabulares de plagioclásio por fluxo magmático (Figura 97).

Foram identificadas fases de pegmatíticas (Figura 98) associadas ao gabro Vitoriano Veloso. Estas ocasionaram a formação de uma rocha com a mesma mineralogia do gabro, entretanto com granulação maior e contornos desde irregulares.



Figura 97 - Amostra de rocha do gabro Vitoriano Veloso mostrando uma forte foliação ígnea primária, marcada pela orientação dos cristais de plagioclásio. Ponto JU-145.



Figura 98 - Pegmatitização nas rochas do gabro Vitoriano Veloso mostrando o aumento da granulação (A), bem como áreas com a granulação original da rocha (B), demarcadas por pontilhado vermelho. Ponto JU-73E.

8.4.2 – Aspectos Petrográficos

8.4.2.1– Feições Ígneas

Uma das principais feições primárias dessas rochas é a variação na granulação (Figura 99), assim como na porcentagem dos minerais máficos e félsicos (Figura 100). Os grãos de plagioclásio (essencialmente andesina) ocorrem com formas idiomórficas e em sua grande maioria estão orientados formando uma textura de fluxo magmático bastante evidente (Figura 101), bem como também apresentam um forte zonamento oscilatório.

Quanto à mineralogia acessória primária foram descritos apatita, zircão, titanita e allanita, além de minerais opacos. Já no caso da mineralogia essencial, ocorrem ortopiroxênio,

clinopiroxênio, plagioclásio e hornblenda, esta última, substituindo de forma pseudomórfica antigos grãos de piroxênio.

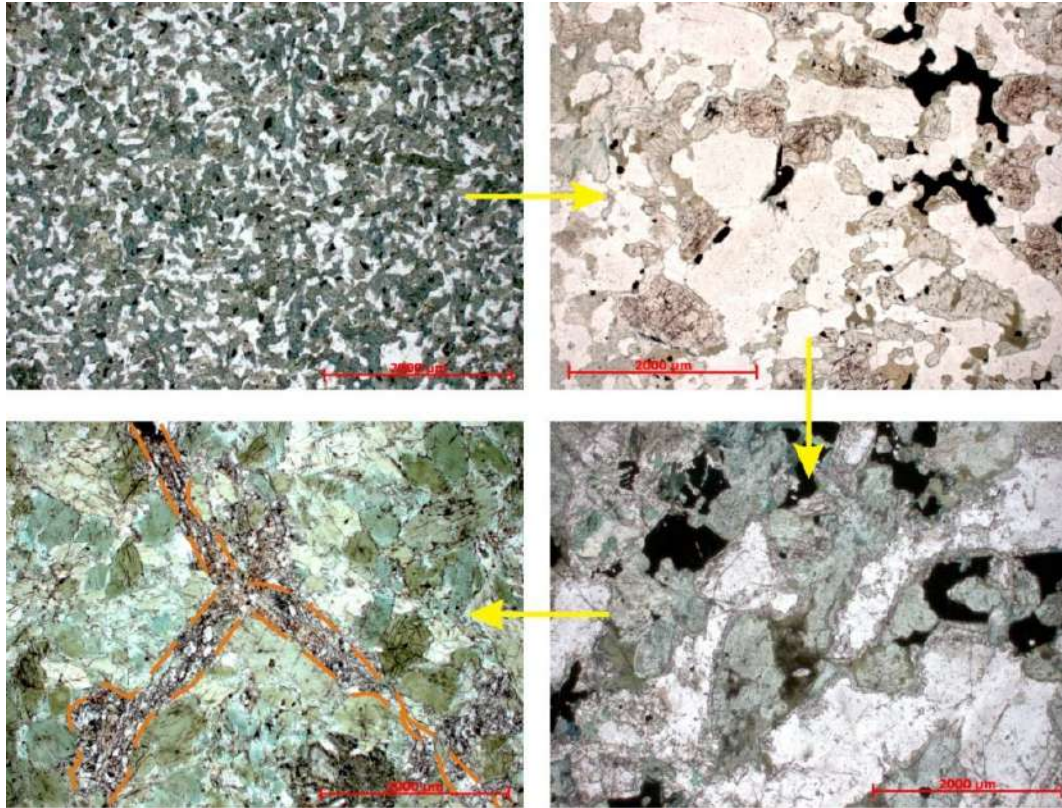


Figura 99 - Variações na granulção do gabro Vitoriano Veloso. Respectivamente, fácies diabásio (lâminas JU-25A), fácies gabro fino/gabro médio (lâmina JU-193), fácies gabro médio (lâmina JU-28) e fácies gabro grosso (lâmina JU-11E).

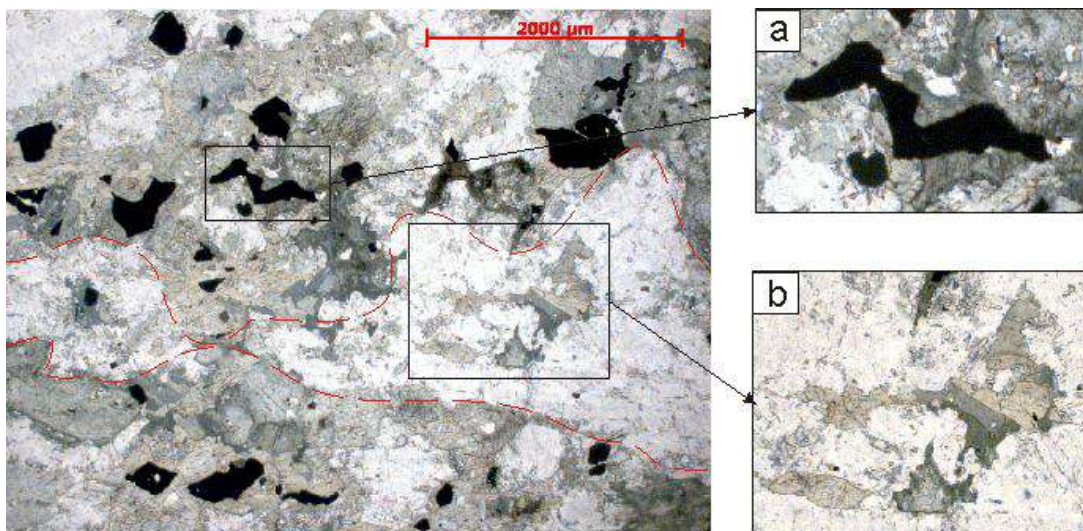


Figura 100 - Variações nas porcentagens dos minerais essenciais do gabro Vitoriano Veloso, formando níveis ricos em minerais máficos e em minerais félsicos. **a)** Nos níveis mais máficos, há o predomínio de hornblenda e minerais opacos (com formas intercumuláticas). **b)** Já os níveis mais félsicos são ricos em plagioclásio, contendo hornblenda intercumulática. Lâmina JU-001.

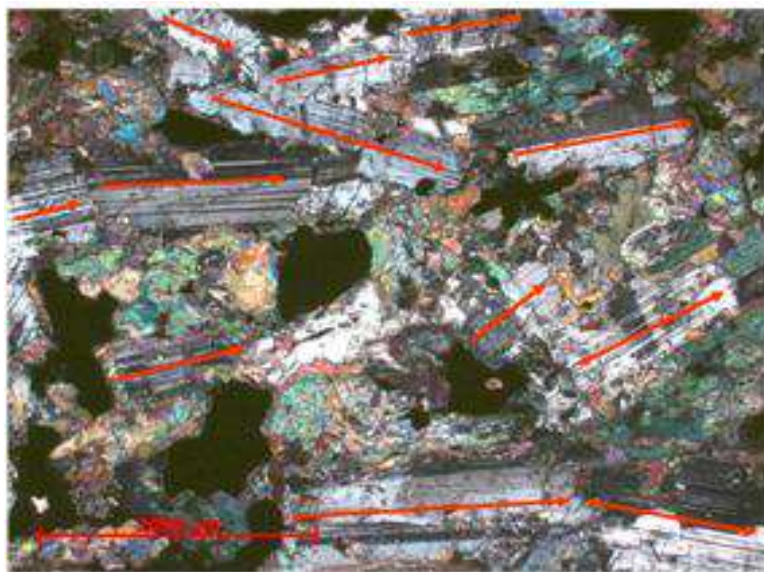


Figura 101 - Grãos de plagioclásio, hipidiomórficos e orientados (segundo a seta vermelha), formando uma textura de fluxo magmático no gabro Vitoriano Veloso. Lâmina JU-37A.

Foram observados ainda, diversos grãos reliquiais de piroxênio, geralmente alterando para anfibólio. O clinopiroxênio, em geral, aparece nas bordas do hiperstênio indicando desestabilização deste (Figura 102) ou ainda em grãos com formas granulares. Por fim, cristaliza a hornblenda com pleocroísmo variando de verde claro a verde-musgo, contendo em geral, aspecto “sujo” (Figura 103) devido a uma grande quantidade de inclusões ou exsoluções de minerais castanhos e opacos nas clivagens. A hornblenda ocorre na borda de ambos os tipos de piroxênio (Figura 102), enquanto as fases de pegmatitização (Figura 104) refletem a composição original da rocha de forma mais evidente.

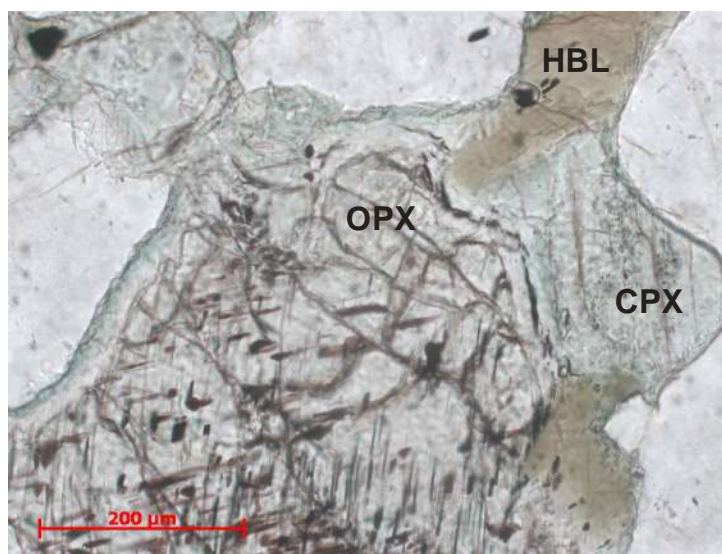


Figura 102 - Ortopiroxênio (OPX) tipo hiperstênio envolvido por clinopiroxênio (CPX). Destaca-se que a hornblenda (HBL) cresce na borda dos grãos dos dois tipos de piroxênio. Lâmina JU-196.

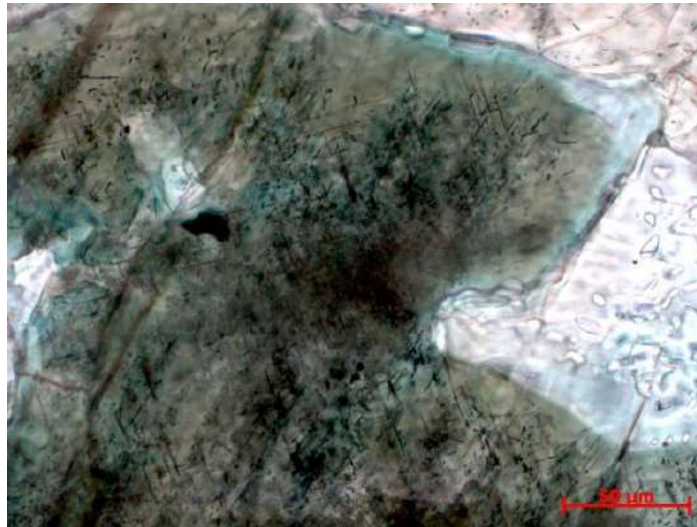


Figura 103 - Hornblenda com coloração marrom escura, contendo diversas inclusões em suas clivagens e fraturas de minerais aciculares castanhos e opacos. Lâmina JU-37A.

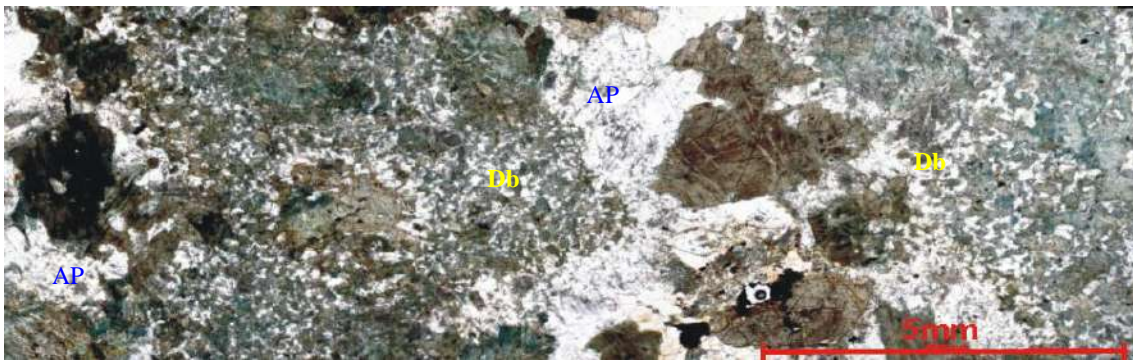


Figura 104 - Diabásio (Db) contendo áreas pegmatitizadas (AP) na forma de veios, onde nota-se o crescimento dos grãos de plagioclásio (branco) e hornblenda (marrom). Lâmina JU-73E.

8.4.2.2 - Feições Metamórficas

A mineralogia metamórfica destas rochas compreende actinolita, ferro-actinolita, assim como titanita, rutilo e quartzo em pequenas quantidades. A principal feição metamórfica observada nas rochas deste corpo corresponde ao sucessivo crescimento de diferentes tipos de anfibólio. A actinolita possui *blebs* de quartzo (**Figura 105**), típica feição de transformação mineral em que há sobra de sílica. A actinolita ocorre, em geral, no centro dos cristais de hornblenda (**Figura 106**), considerada por Guerrero (2011) como tardi-magmática. Já a ferro-actinolita normalmente ocorre na borda dos dois outros anfibólios (**Figura 107**), é livre dos *blebs* de quartzo e das inclusões de minerais castanhos e opacos aciculares (**Figura 108**). Muitas vezes a geminação da hornblenda encontra-se obliterada pelo sobrecrecimento da actinolita (**Figura 109**), indicando que esta última teria se formado posteriormente à hornblenda. Além disso, a ferro-actinolita, por se desenvolver nas bordas

tanto da hornblenda, quanto da actinolita é, neste caso, considerada como o anfibólio mais tardio.

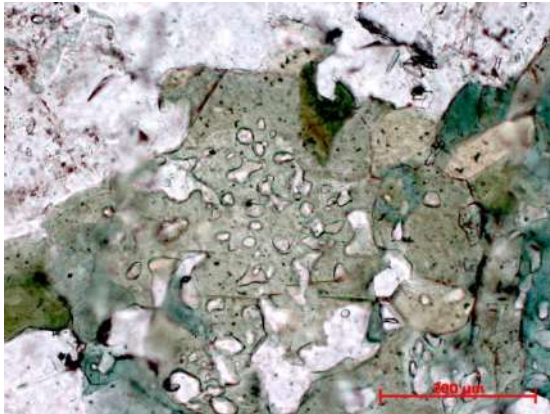


Figura 105 - Actinolita com cor verde clara, contendo *blebs* de quartzo típica da textura de transformação mineral em que há sobra de sílica. Lâmina JU-25B.

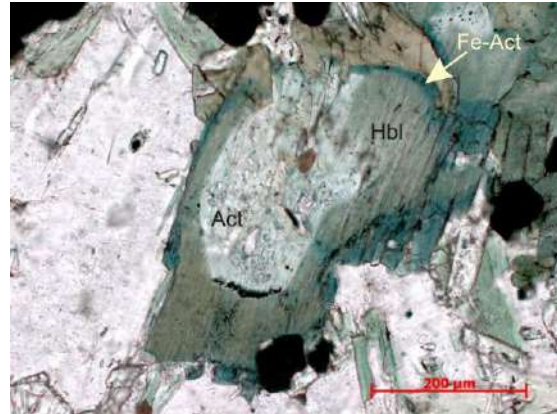


Figura 106 - Actinolita (Act) verde clara no centro de grão de hornblenda (Hbl) verde escura, que é sobrecrecida por ferro actinolita (Fe-Act) com cor verde azulada. Lâmina JU-25B.

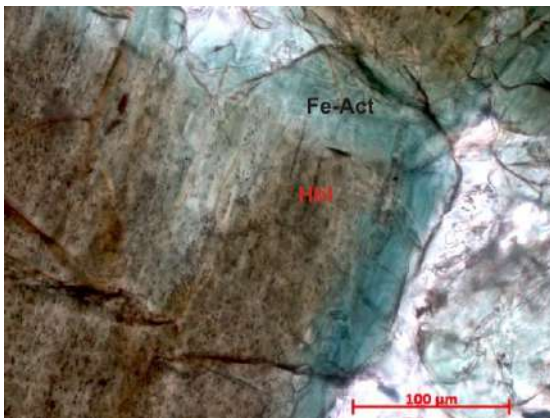


Figura 107 - Hornblenda (Hbl) marrom, contendo diminutas inclusões de minerais castanhos e opacos aciculares, conferindo um aspecto manchado à mesma. Presença de ferro-actinolita (Fe-Act) de coloração verde azulada na borda da hornblenda e livre das inclusões. Lâmina JU-73E.

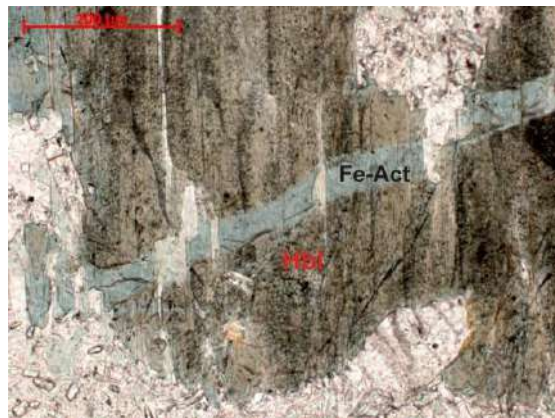


Figura 108 - Hornblenda (Hbl) marrom, contendo diminutas inclusões de minerais castanhos e opacos aciculares, conferindo um aspecto manchado à mesma. Presença de ferro-actinolita (Fe-Act) de coloração verde azulada e livre de inclusões, ocorrendo na forma de veio resultante da percolação de fluidos. Lâmina JU-174D.

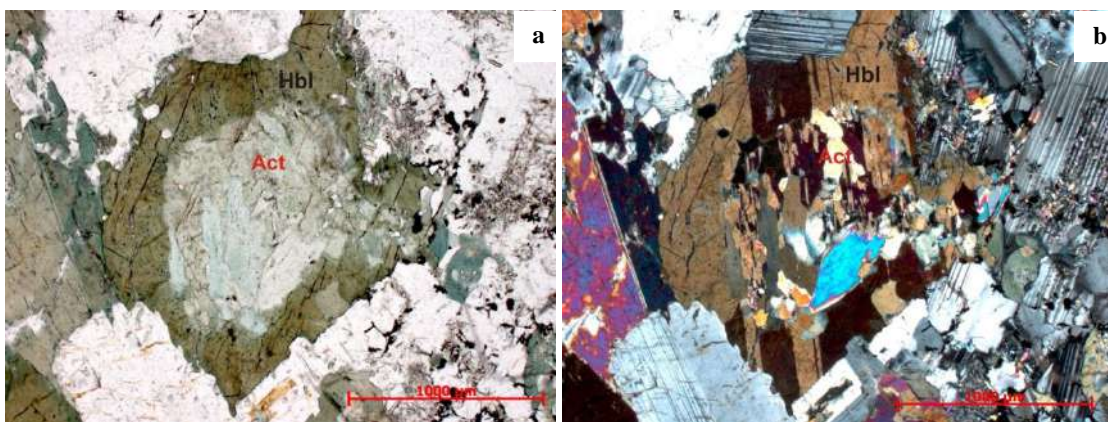


Figura 109 - a) Actinolita (Act) verde clara sobrecrecida no centro de hornblenda (Hbl). b) Actinolita (Act) obliterando a geminação contínua da hornblenda (Hbl) apontando que a mesma seria tardia. Lâmina JU-25B.

8.4.2.3 - Feições Metamórficas - Hidrotermais

Sobrepondo as fases de crescimento metamórficas descritas anteriormente, ocorre uma paragênese onde persiste uma grande dúvida quanto a sua gênese (Guerrero, 2011), podendo a mesma ser metamórfica ou hidrotermal. Essa paragênese é bastante característica, contendo essencialmente clorita, biotita, epidoto, zoisita e clinozoisita; podendo ou não obliterar quase que totalmente as texturas pretéritas. Ocorrem ainda veios monominerálicos de epidoto e veios contendo quartzo, opacos e clorita, ambos tardios.

9 - DISCUSSÕES E CONCLUSÃO

O mapeamento geológico da área abrangendo a região entre as cidades de Tiradentes, Prados, Dorcas de Campos e o distrito de Vitoriano Veloso possibilitou a identificação de três unidades distintas: 1) andesito máfico Santo Antônio; 2) suíte félsica Tiradentes; e 3) gabro Vitoriano Veloso. Outras unidades ocorrem na área em questão (**Anexo I – Mapa geológico**), porém estas não foram estudadas em maior detalhe na presente monografia.

No contexto da região em questão serão apresentadas a seguir as principais feições de cada uma das unidades estudadas:

- I - Andesito máfico Santo Antônio: representado por rochas andesíticas finas a médias, equigranulares, localmente porfíricas (fenocristais de anfibólio) compostas por anfibólio, plagioclásio, biotita e raro quartzo. Reúne também diques dioríticos de granulação média;
- II - Suíte félsica Tiradentes: compreende vários corpos vulcânicos e subvulcânicos félsicos, hololeucocráticos a leucocráticos, constituídos por andesitos, dacitos e tonalitos, com diversas texturas, dentre as quais equigranular, porfírica, granofírica, esferulítica, acamadada e de fluxo magmático.
- III - Gabro Vitoriano Veloso: representado por rochas básicas, equigranulares, envolvendo distintas fácies com granulações que variam de fina a grossa (diabásios e gabros). As rochas deste corpo possuem acamamento primário, orientação de fluxo magmático, autólitos e são constituídas essencialmente por hornblenda, actinolita, ferro - actinolita, plagioclásio e quantidades bastante variáveis de minerais opacos. Ortopiroxênio e clinopiroxênio são raros e em geral, encontram-se pseudomorficamente transformados para anfibólio metamórfico.

As relações de campo entre as rochas das diferentes unidades mapeadas na região e a utilização de dados inéditos relativos a datação das rochas estudadas permitiram a elaboração de uma sequência cronológica, onde as rochas da unidade andesítica máfica Santo Antônio são mais velhas que as rochas da suíte félsica Tiradentes. Esta proposta baseia-se na presença de xenólitos máficos (correlacionados a unidade andesítica) nas rochas da suíte félsica Tiradentes (**Figura 21**), bem como na presença de diques de rochas félsicas cortando rochas máficas (**Figura 57**). Cabe destacar que essa proposição foi corroborada pelas idades U-Pb LA-ICPMS obtidas no projeto coordenado pelos professores Wilson Teixeira (USP) e Ciro Alexandre Ávila (UFRJ), onde as rochas da unidade andesítica máfica Santo Antônio apresentaram idade de cristalização por U-Pb (LA-ICPMS) de 2.217 ± 23 Ma e são mais

velhas que as rochas da suíte félsica Tiradentes, cujas idades de cristalização por U-Pb (ID-TIMNS) variaram entre 2.204 ± 11 Ma e 2.213 ± 10 Ma (Ávila *et al.*, 2011).

Em relação ao gabro Vitoriano Veloso, cabe ressaltar que não foram observadas relações deste corpo com as rochas da unidade andesítica máfica Santo Antônio, nem com as rochas da suíte félsicas Tiradentes. Porém, segundo Guerreiro (2011) este gabro é cortado por pequenos *stocks* tonalíticos e por várias injeções pegmatíticas, que foram correlacionadas com as rochas da suíte félsicas Tiradentes. Porém os dados isotópicos recentemente obtidos apontaram que essa correlação não estaria correta, pois o gabro Vitoriano Veloso apresentou idade de cristalização (LA-ICPMS) de 2186 ± 11 Ma (dado inédito) e desta maneira seria mais novo que as rochas da suíte félsicas Tiradentes. Neste sentido propõe-se que o corpo plutônico félsico que é envolvido por rochas do gabro Vitoriano Veloso (Anexo I – Mapa geológico) não poderia ser correlacionado a suíte félsica Tiradentes.

Em relação a evolução mineralógica das rochas da unidade andesítica máfica Santo Antônio, caracterizou-se que plagioclásio, hornblenda, biotita, minerais opacos, apatita, allanita e zircão seriam minerais magmáticos reliquiais, enquanto actinolita, biotita₂, epidoto, titanita, clorita, biotita₃, muscovita, epidoto₂, zoisita e clinozoisita seriam minerais metamórficos e/ou hidrotermais. Quimicamente estas são basaltos subalcalinos metaluminosos, apresentam enriquecimento em FeO_{total} e plotam no campo dos MORB e no dos basaltos intra-placa.

As rochas da suíte félsica Tiradentes são compostas de plagioclásio, quartzo, apatita, allanita, biotita, minerais opacos, titanita, zircão e fluorita, enquanto clorita, sericita, titanita₂, rutilo, biotita₂, muscovita, minerais opacos₂, epidoto, zoisita e clinozoisita são minerais metamórficos e/ou hidrotermais. Estas rochas apresentam ampla variação textural que reflete na profundidade de cristalização do magma associado as mesmas (Figuras 64 e 74). Neste caso foram caracterizadas rochas vulcânicas a subvulcânicas afaníticas com *emplacement* em níveis crustais rasos ou na superfície (textura esferulítica e vacuolares), bem como rochas subvulcânicas faneríticas, indicando nível crustal um pouco mais profundo (texturas equigranular, porfírica, glomeroporfírica e granofírica). Cabe ainda destacar a presença de feições texturais indicativas de instabilidade do magma ao se cristalizar (fenocristais de plagioclásio corroídos e com forma arredondada) e de movimentação do magma com parte dos grãos de plagioclásio cristalizados (textura de fluxo magmático com orientação dos fenocristais de plagioclásio e de grãos de biotita).

Em relação a composição química, as rochas da suíte félsica Tiradentes podem ser classificadas como riólitos no diagrama TAS (Figura 86) ou como trondhjemitos no diagrama normativo An – Ab – Or (Figura 87). Essa variação deve-se principalmente ao elevado

conteúdo em SiO_2 , que proporciona a classificação das rochas como riólitos no diagrama TAS. Esperava-se que as mesmas plotassem no campo dos granitos no diagrama normativo An – Ab – Or, porém devido ao elevado conteúdo de Na_2O e baixo de K_2O estas plotam no campo dos trondhjemitos e não no campo dos granitos. Corroborando essa proposição, podemos utilizar os seguintes critérios químicos propostos por Baker (1979):

- 1) Ter conteúdo de SiO_2 entre 68 e 75% em peso. As rochas estudadas possuem conteúdo de SiO_2 entre 70,18 e 76,96% peso;
- 2) Possuir mais de 15% em peso de Al_2O_3 (caso SiO_2 seja próximo a 70% em peso) ou menos de 15% em peso (caso SiO_2 seja próximo a 75% em peso). No caso das rochas estudadas o conteúdo de Al_2O_3 varia entre 12,52 e 14,74% em peso.
- 3) Apresentar soma de $\text{FeO}_{\text{total}} + \text{MgO}$ menor que 3,4% em peso. As rochas estudadas possuem esta soma variando entre 1,92 e 4,40% em peso.
- 4) O percentual de CaO varia entre 1,5 e 3,0% em peso, sendo que os trondhjemitos cálcicos podem alcançar valores próximos de 4,4 e 4,5% em peso. No caso das rochas estudadas o percentual varia de 0,61 a 3,99% em peso;
- 5) O conteúdo de Na_2O deve variar entre 4,0 e 5,5% em peso. As rochas da suíte félsica Tiradentes apresentam valores entre 4,27 a 6,48% em peso;
- 6) Os teores de K_2O devem ser abaixo de 2,5% em peso. No caso das rochas estudadas esses valores sempre são inferiores a 1,57% em peso.

Segundo Barker (1979), rochas com tais características podem corresponder ao produto da diferenciação tanto de um magma andesítico de baixo potássio, quanto serem geradas a partir de fusão parcial de um anfibolito ou de um gabro (Figura 110). Nestes casos, o magma resultante cristalizaria em um ambiente de arco vulcânico intra-oceânico, onde o resíduo da fusão seria representado por piroxênio + hornblenda + plagioclásio \pm granada.

A partir do estudo e comparação entre os dados petrográficos, geoquímicos e isotópicos das rochas da suíte félsica Tiradentes com os das rochas da suíte Serrinha (Ávila *et al.*, 2007; 2010) sugere-se que estas duas suítes poderiam ser relacionadas tanto geneticamente, quanto temporalmente. Neste sentido essas duas suítes apresentam diversas feições petrográficas semelhantes representadas por: estruturas radiais ou esferulitos (Figura 111), texturas equigranular (Figura 112), glomeroporfírica (Figura 113), granofírica (Figura 114) e de fluxo (Figura 115), bem como amígdala (Figura 116) e feição de corrosão (Figura 117). Em relação a geoquímica, caracterizou-se que as rochas da suíte félsica Tiradentes se sobrepõem ao campo atribuído as rochas da suíte Serrinha nos diagramas TAS (Le Bas, 1986 - Figura 118), AFM (Irvine & Barangar, 1971 - Figura 119), de alumino - saturação (Maniar

&Picoli, 1989 - **Figura 120**), de feldspatos normativos (O'Connor, 1965 - **Figura 121**), SiO_2 x $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (Irvine & Barangar - **Figura 122**), Y+Nb x Rb (Pearce *et al.*, 1983 - **Figura 123**) e o de ETR (**Figura 124**) normalizado pelo condrito de Boyton (1984).

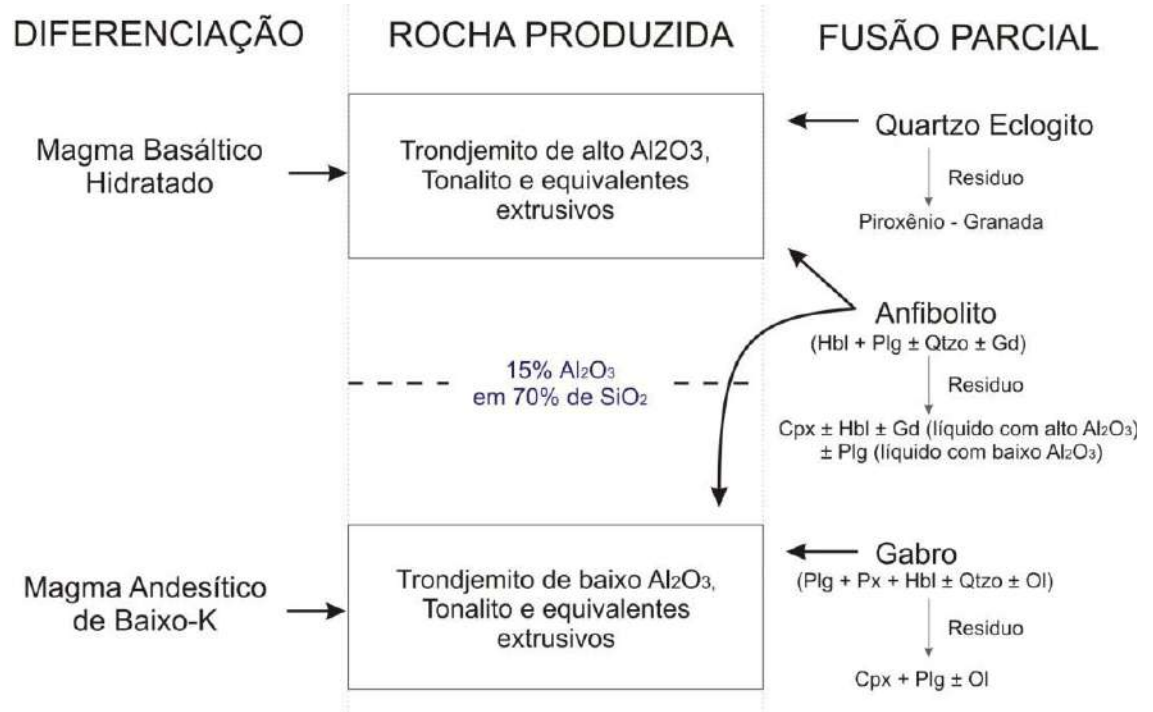


Figura 110 - Diagrama esquemático mostrando a geração de líquidos tonalíticos-trondhjêmíticos com altos e baixos teores de Al_2O_3 , resultado de diferenciação magmática e fusão parcial. Modificado de Barker & Arth (1976 *in* Barker, 1979).

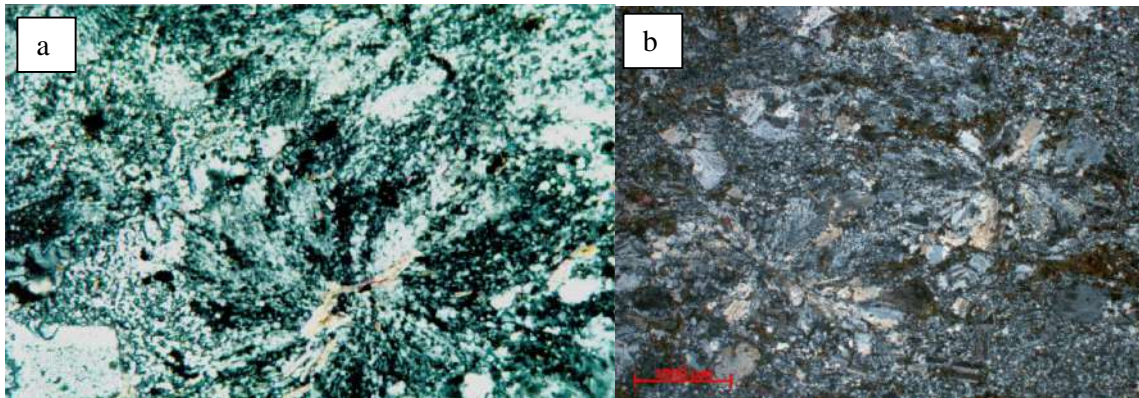


Figura 111 – Estruturas radiais esferulíticas. (a) Suíte Serrinha, (b) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados.

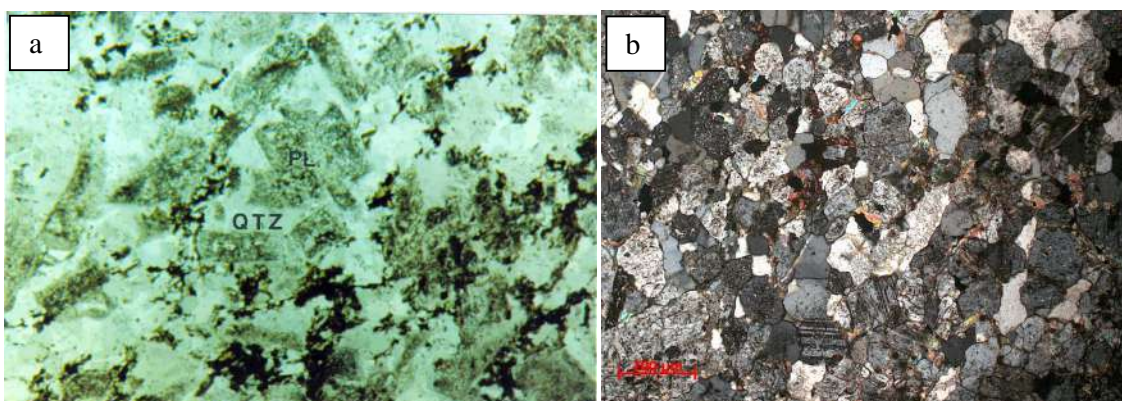


Figura 112 – Textura equigranular. (a) Suíte Serrinha, Polarizadores paralelos; (b) Suíte félsica Tiradentes, Polarizadores cruzados.

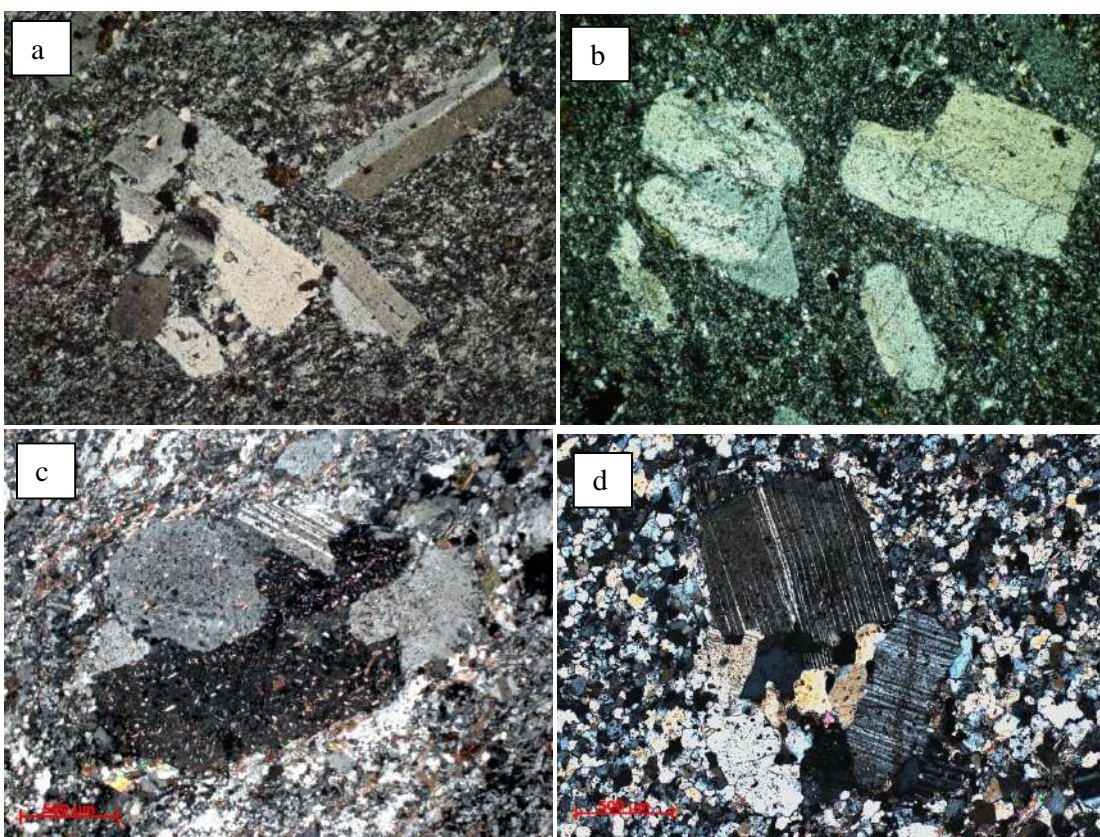


Figura 113 – Textura glomeroporfírica. (a e b) Suíte Serrinha, (c e d) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados.

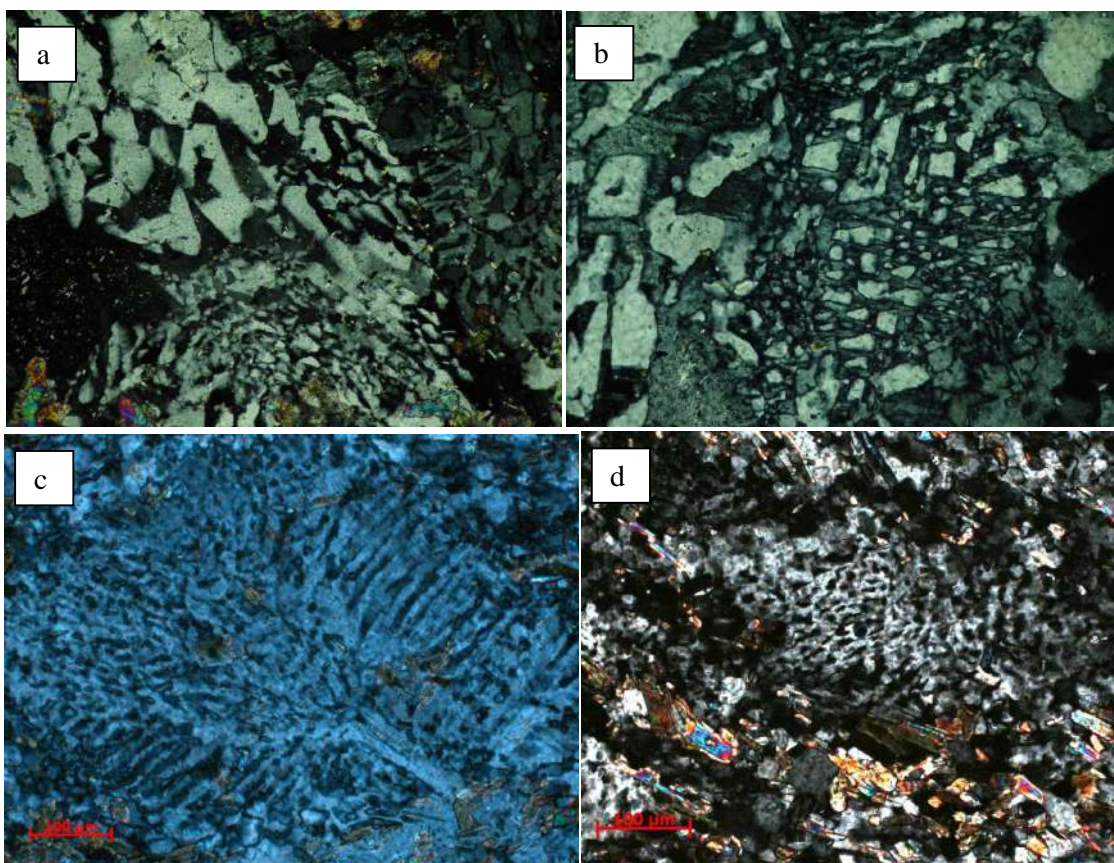


Figura 114 – Textura granofílica. (a e b) Suíte Serrinha, (c e d) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados.

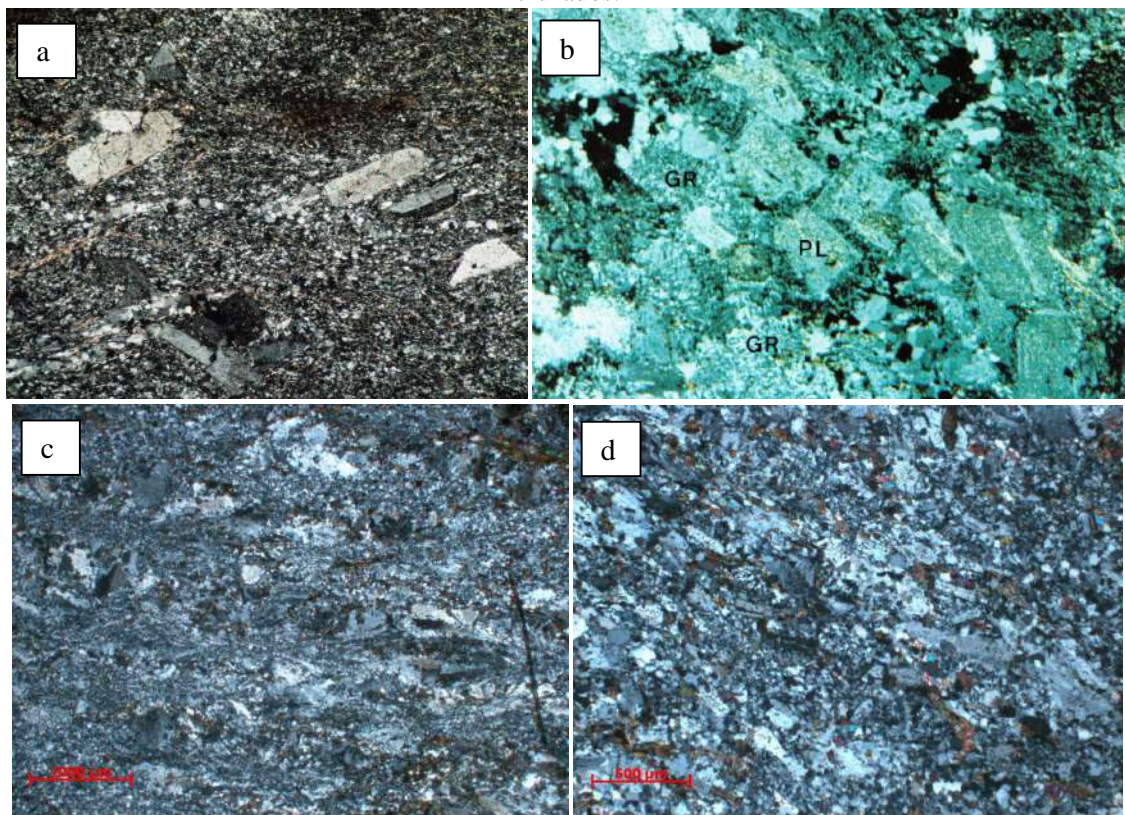


Figura 115 – Textura de fluxo. (a e b) Suíte Serrinha, (c e d) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados.

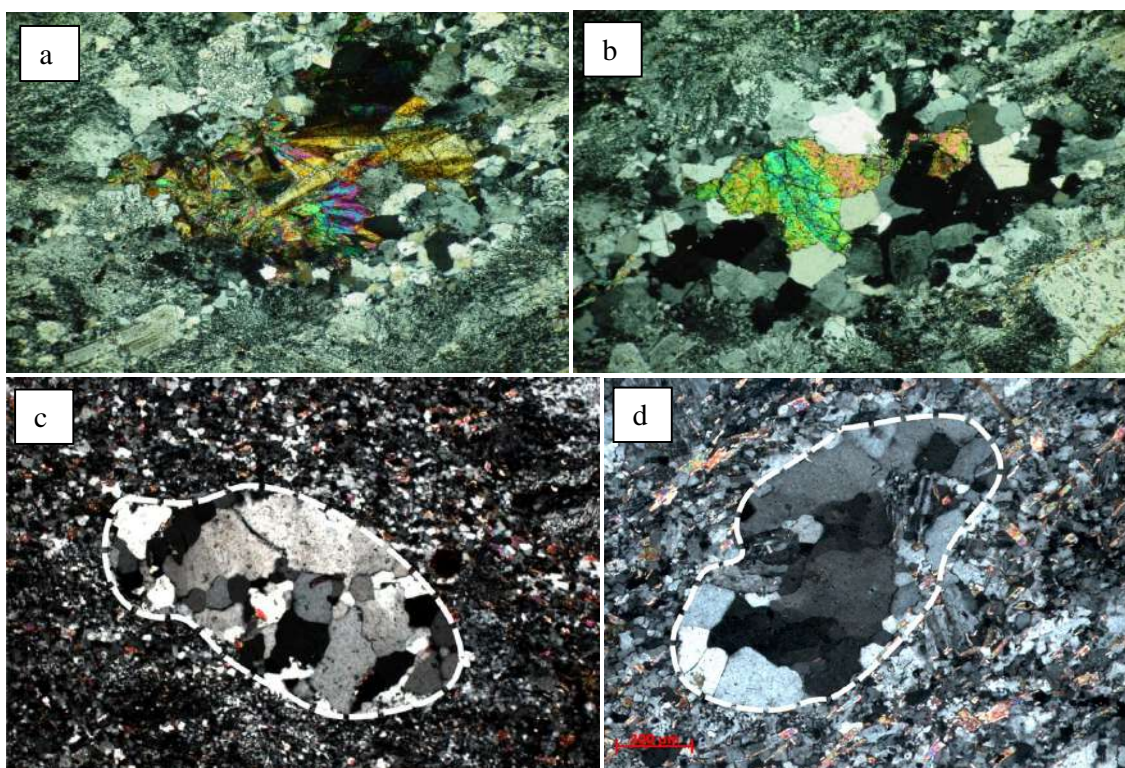


Figura 116 – Amígdalas. (a e b) Suíte Serrinha, (c e d) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados.

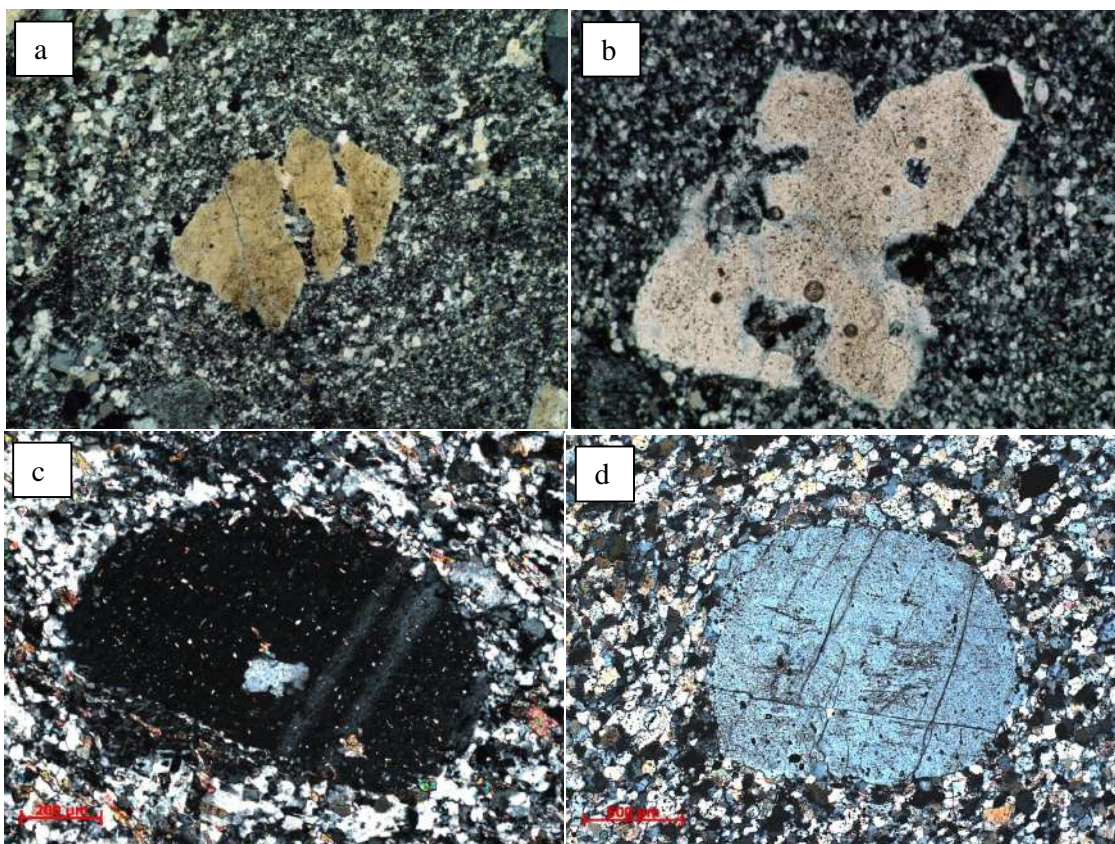


Figura 117 – Feição de corrosão. (a e b) Suíte Serrinha, (c e d) Suíte félsica Tiradentes. Polarizadores cruzados.

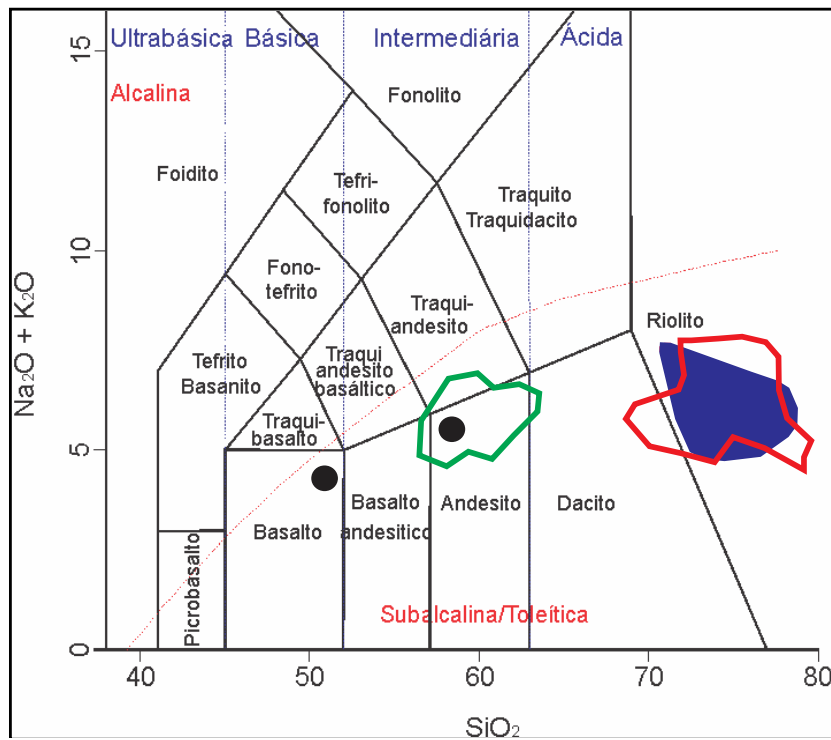


Figura 118 - Diagrama discriminante $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$ (Le Bas, 1986), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes (em azul), da suíte Serrinha (em vermelho), do quartzo - diorito da suíte Serrinha (em verde) e para as rochas da unidade andesítica máfica (círculos pretos).

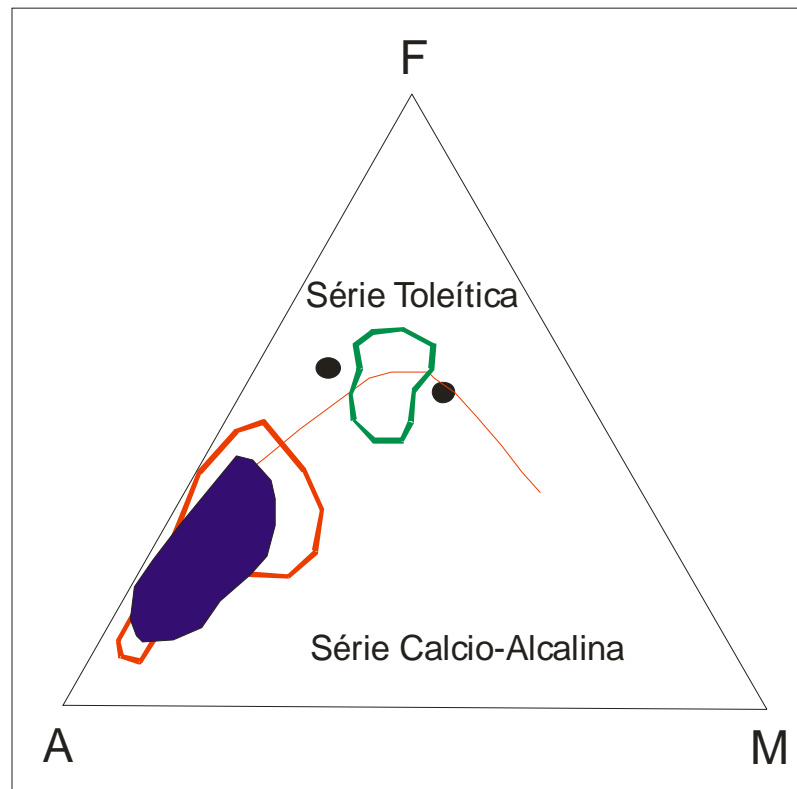


Figura 119 - Diagrama discriminante AFM (Irvine & Baragar, 1971), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte félsica Tiradentes (em azul), da suíte Serrinha (em vermelho), do quartzo - diorito da suíte Serrinha (em verde) e para as rochas da unidade andesítica máfica (círculos pretos).
A = $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; F = $\text{FeO} + 0,9\text{Fe}_2\text{O}_3$; M = MgO

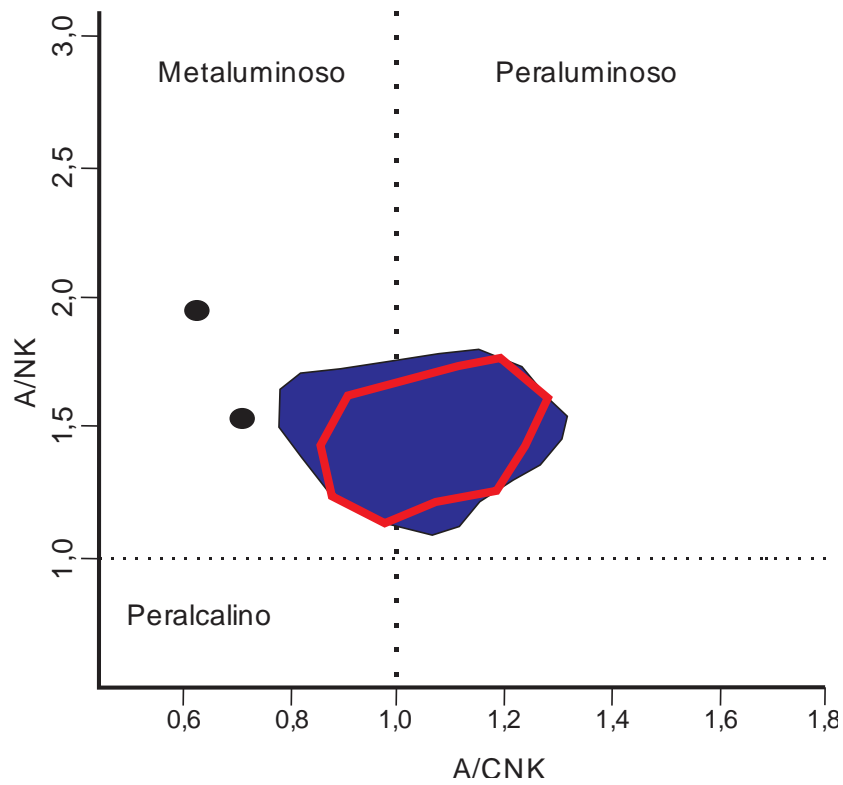


Figura 120 - Diagrama discriminante A/NK x A/CNK (Maniar & Piccoli, 1989), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte fílsica Tiradentes (em azul), para as rochas da suíte Serrinha (em vermelho) e para as rochas da unidade andesítica máfica (círculos pretos). $A/NK = Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)$ em mol; $A/CNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ em mol.

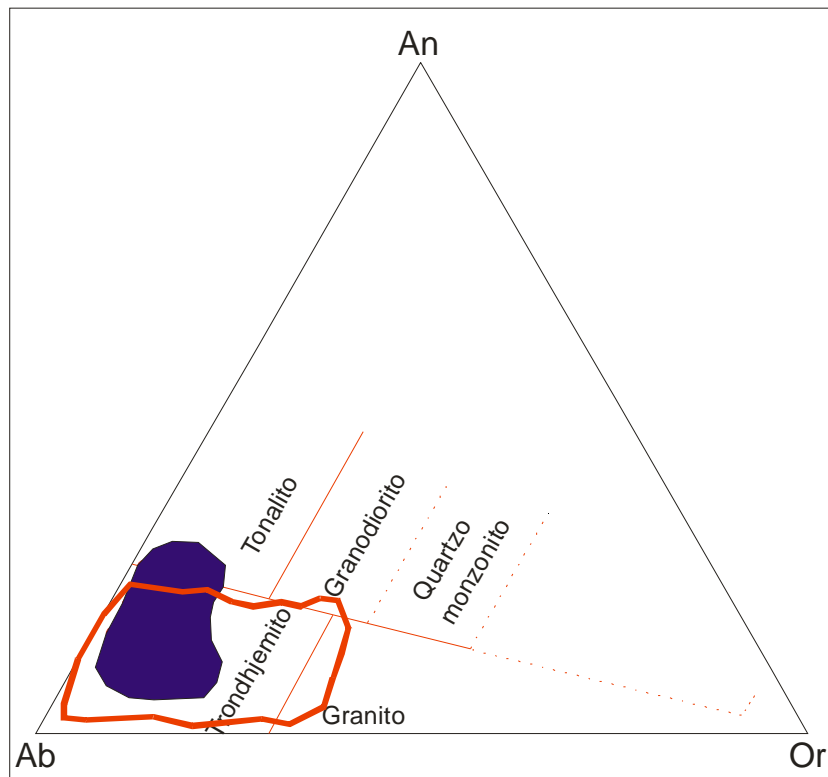


Figura 121 - Diagrama discriminante An-Ab-Or (O' Connor, 1965), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte fílsica Tiradentes (em azul) e para as rochas da suíte Serrinha (em vermelho).

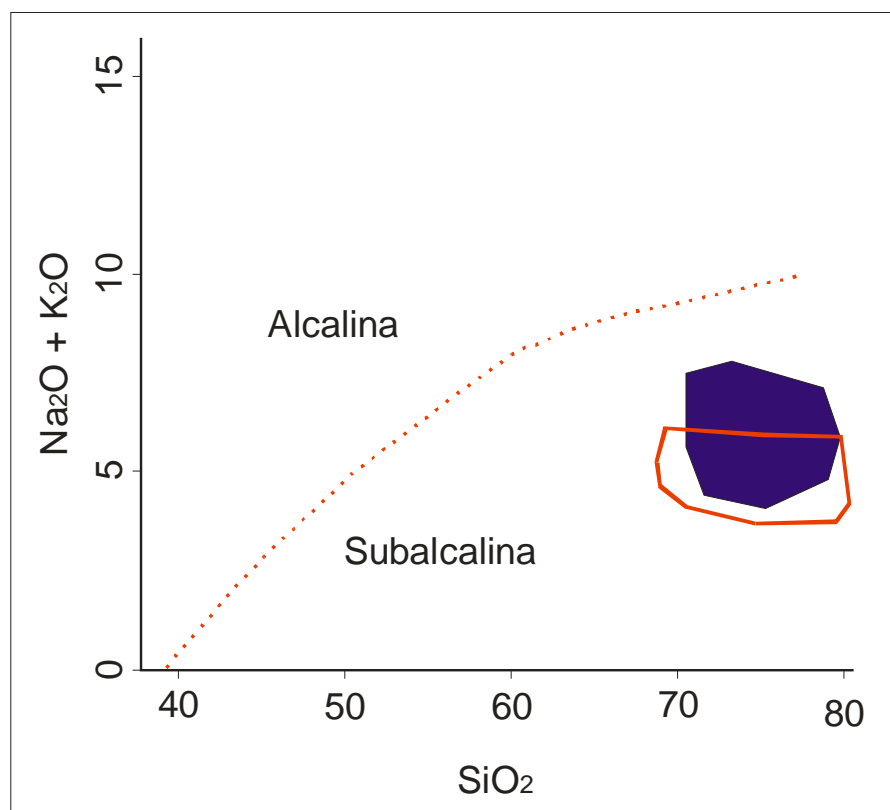


Figura 122 - Diagrama discriminante $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$ (Irvine & Baragar, 1971), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte fílsica Tiradentes (em azul) e para as rochas da suíte Serrinha (em vermelho).

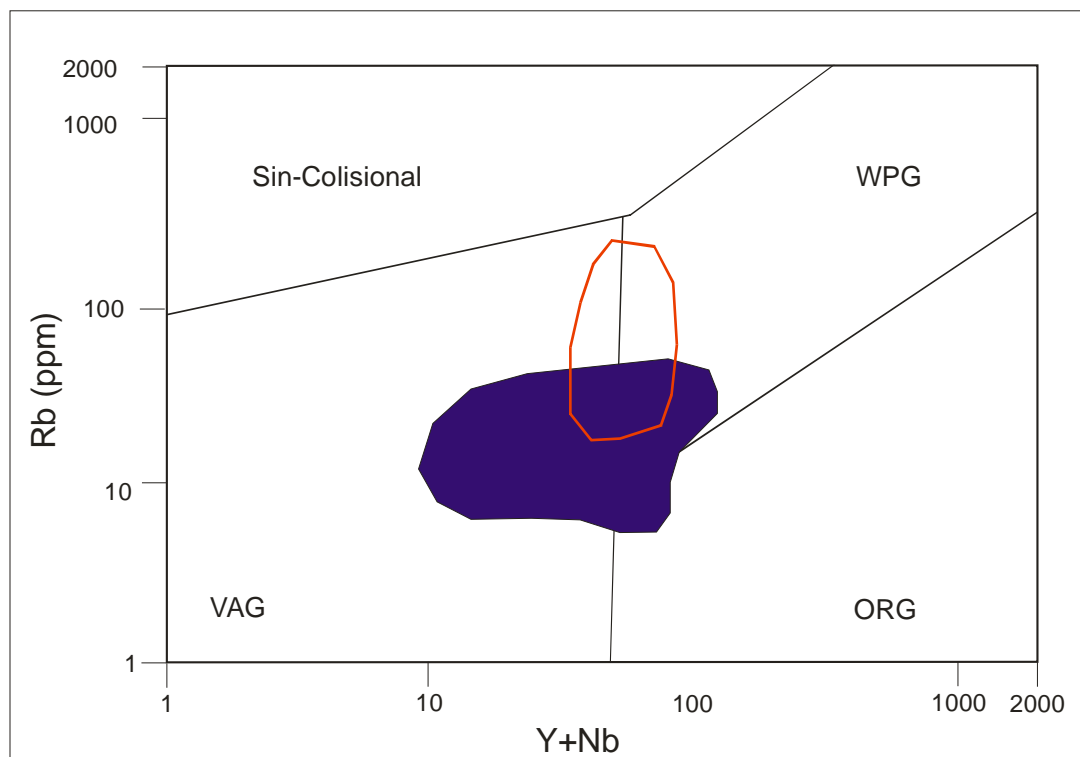


Figura 123 - Diagrama discriminante $(\text{Y}+\text{Nb}) \times \text{Rb}$ (Pearce *et al.*, 1984), para as rochas vulcânicas - subvulcânicas da suíte fílsica Tiradentes (em azul) e da suíte Serrinha (em vermelho). WPG = granitos intraplaca, VAG = granitos de arco vulcânico, ORG = granitos de cordilheira oceânica.

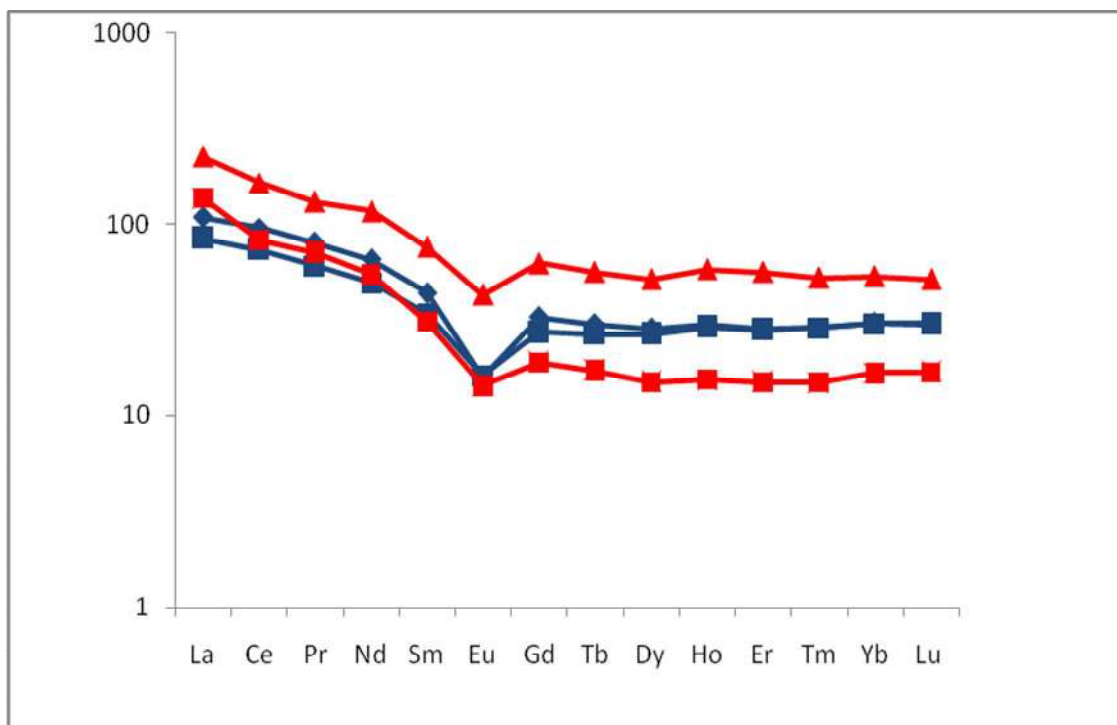


Figura 124 – Diagrama dos elementos terras raras normalizado pelo condrito de Boynton (1984). Comparação das rochas da Suíte Serrinha (em vermelho) com as rochas da Suíte félsica Tiradentes (em azul).

Cabe destacar que no diagrama de Y+Nb x Rb (**Figura 123**) as amostras da suíte félsica Tiradentes são mais enriquecidas em Rb do que as amostras da suíte serrinha, provavelmente associada a presença de biotita.

Uma idade U/Pb (TIMNS) de 2.204 ± 11 Ma (**Figura 125**) de uma rocha fanerítica félsica da exposição do Córrego Santo Antônio sugere que a mesma seria correlata aos felsitos da região de São João del Rei (2.227 ± 22 a 2.211 ± 22 Ma - **Figuras 126 e 127**), portanto associada à evolução do arco magmático intra-ocênico Serrinha, conforme proposto por Ávila *et al.* (2010). Contudo, segundo Ávila *et al.* (2010) duas análises Sm/Nd de rochas subvulcânicas (uma félsica da suíte Tiradentes e outra máfica da unidade andesítica Santo Antônio) indicaram idades T_{DM} arqueanas (2,6-2,7 Ga), enquanto que os valores calculados de $\epsilon_{Nd(2,2Ga)}$ pouco negativos (-1,3; -0,5) combinados aos de $\epsilon_{Sr(2,2Ga)}$ (+18,5; +29,9) sugerem para ambas uma tênue contaminação crustal do magma progenitor.

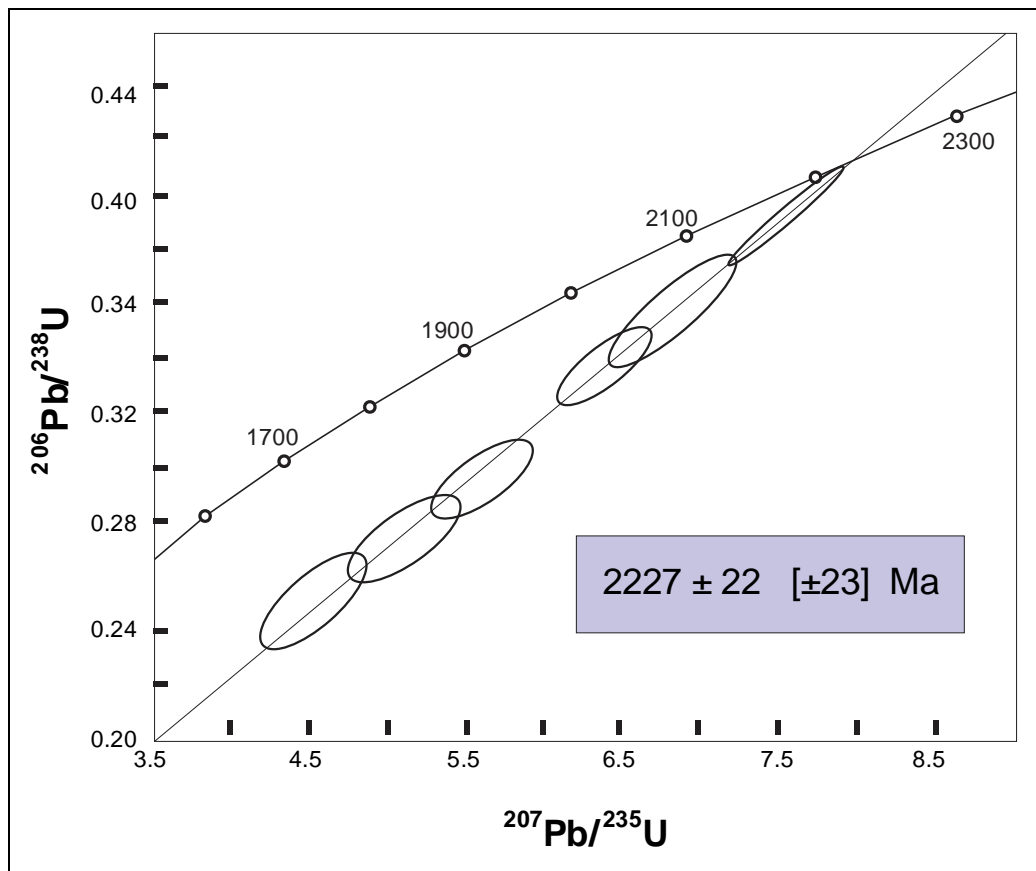


Figura 125 - Diagrama concórdia U-Pb do granodiorito brumado de cima (suíte Serrinha).

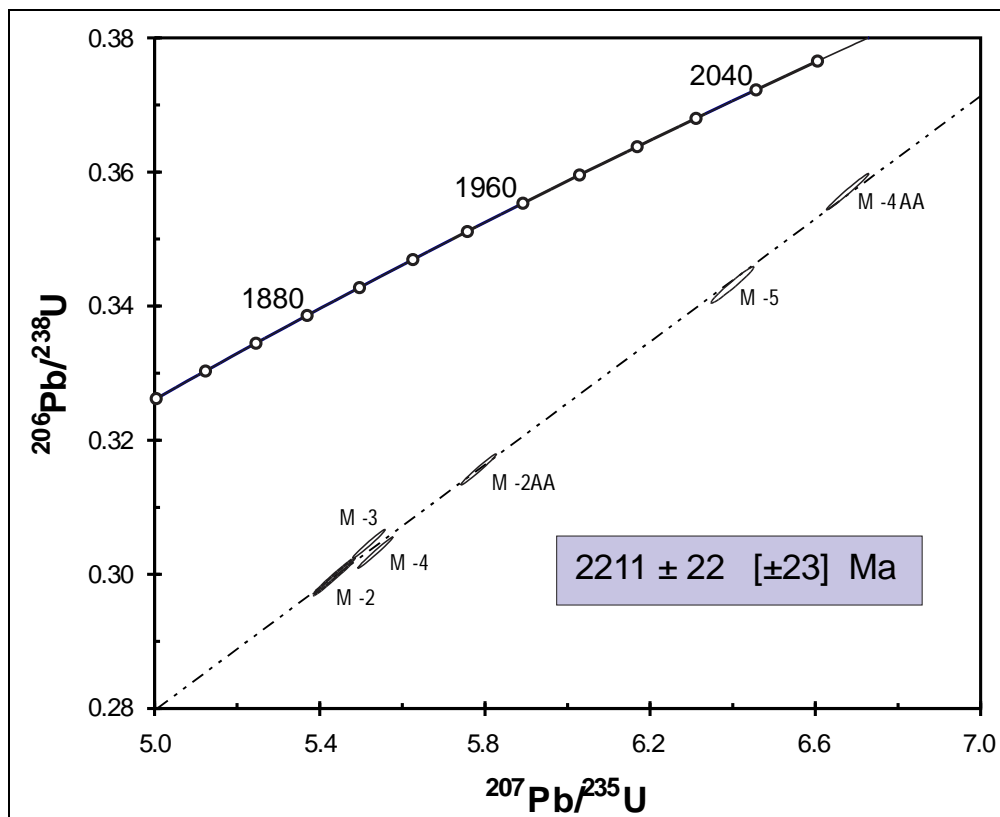


Figura 126 -

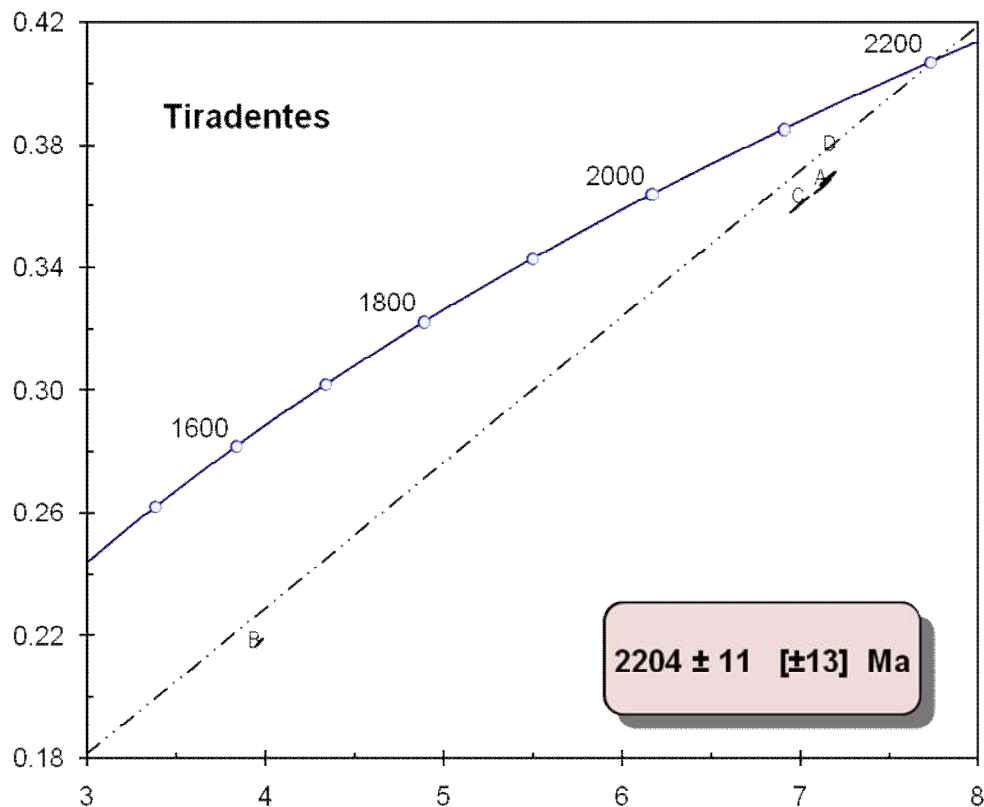


Figura 127 –

Em relação ao gabro Vitoriano Veloso caracterizou-se que este corresponderia a um corpo acamadado pois foram observados níveis com variações na sua granulação (diabásios e gabros desde finos a grossos - Guerreiro, 2011) e na porcentagem dos minerais máficos e félsicos (plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio e hornblenda). Como feições primárias associadas a esses níveis foram caracterizados. O clinopiroxênio aparece, em geral, nas bordas do hiperstênio indicando desestabilização deste ou ainda em grãos isolados. Por fim, cristaliza-se a hornblenda (ocorre na borda de ambos os tipos de piroxênio) contendo, em geral, aspecto sujo devido a uma grande quantidade de inclusões ou exsoluções de minerais castanhos e opacos em suas clivagens. A textura de zonamento oscilatório encontrada em parte dos cristais de plagioclásio indica que os mesmos estavam em desequilíbrio com o magma durante a sua cristalização, enquanto a textura de fluxo caracteriza que cristais de plagioclásio previamente formados foram orientados durante o processo de posicionamento e consolidação do magma na crosta.

Em relação ao metamorfismo, caracterizou-se que os andesitos máficos Santo Antônio, as rochas da suíte félsica Tiradentes e o gabro Vitoriano Veloso possuem transformações minerais associadas a pelo menos dois pulsos metamórficos. Em termos gerais

o primeiro pulso apresenta nas rochas andesítica máficas Santo Antônio a paragênese actinolita, biotita₂, epidoto e titanita, enquanto o segundo pulso a paragênese clorita, biotita₃, muscovita, epidoto₂, zoisita e clinozoisita. Nas rochas da suíte félsica Tiradentes o primeiro pulso apresenta paragênese representada por epidoto + biotita₂ ± titanita ± zoizita ± clinozoizita ± allanita, enquanto o segundo pulso a paragênese epidoto + mica branca ± clorita ± zoizita ± clinozoizita ± allanita. Em relação ao gabro Vitoriano Veloso, caracterizou-se a formação de actinolita e de ferro actinolita durante o primeiro pulso metamórfico, enquanto a segunda paragênese é representada por clorita, biotita, epidoto, zoisita e clinozoisita.

No que diz respeito à caracterização das fácies metamórficas, sugere-se que os dois pulsos estariam sob condições de fácies xisto verde. Porém o crescimento de actinolita e ferro actinolita no primeiro pulso pode estar associado a condições de mais alta temperatura que o segundo pulso metamórfico. Ávila *et al.* (2010) publicaram uma síntese dos eventos metamórficos Paleoproterozóicos descritos no Cinturão Mineiro, caracterizando um primeiro evento (2250-2190 Ma) como de fácies anfibolito médio, o segundo (2131-2100 Ma) de fácies xisto verde a anfibolito baixo, enquanto o terceiro seria de fácies anfibolito (Tabela 9) e estaria restrito até o presente momento a região do Quadrilátero Ferrífero. Neste contexto, Sollner & Trouw (1997) apontam que o último pulso metamórfico que afetou esta região, entre 604 e 567 Ma, estaria associado ao Neoproterozóico e seria de fácies xisto verde (pressão alta) a anfibolito.

Tabela 9 - Síntese dos eventos metamórficos Paleoproterozóicos do Cinturão Mineiro segundo Ávila *et al.* (2008, 2010).

Evento Metamórfico	Fácies Metamórficas	Paragêneses
Paleoproterozóico I: 2250-2190 Ma (Ávila <i>et al.</i> , 2008 <i>in</i> Ávila <i>et al.</i> , 2010)	Fácies anfibolito médio	Mg-hornblenda, Fe-hornblenda + oligoclásio ou andesina ± clorita ± epidoto ± biotita ± titanita ± ilmenita (Cherman, 1999 <i>in</i> Ávila <i>et al.</i> , 2010) (Toledo, 2002 <i>in</i> Ávila <i>et al.</i> , 2010)
Paleoproterozóico II: 2131-2100 Ma (Ávila <i>et al.</i> , 2000 <i>in</i> Ávila <i>et al.</i> , 2010)	Fácies xisto verde a anfibolito baixo	Actinolita ± albita ± epidoto ± biotita ± titanita
Paleoproterozóico III: 2059-2030 Ma (Machado <i>et al.</i> , 1996 <i>in</i> Ávila <i>et al.</i> , 2010)	Fácies anfibolito	Caracterizada no Quadrilátero Ferrífero
Neoproterozóico: 604-567 Ma (Sollner & Trouw, 1997 <i>in</i> Ávila <i>et al.</i> , 2010)	Fácies xisto verde a anfibolito	Rochas metassedimentares das megassequências São João e Carandaí

Conclui-se que o único pulso metamórfico descrito no Cinturão Mineiro compatível com a formação de actinolita corresponderia ao evento Paleoproterozóico II. Neste mesmo

contexto, a ferro-actinolita poderia ser produto do metamorfismo progressivo (formada no mesmo evento da actinolita). Posteriormente a este evento, a paragênese típica de baixa temperatura, contendo clorita, biotita, epidoto, zoisita, clinozoisita, titanita e sericita estaria associada ao evento metamórfico do Neoproterozóico.

A partir dos dados geoquímicos e isotópicos obtidos nas rochas da suíte félsica Tiradentes e com a comparação destes dados com aqueles provenientes das rochas da suíte Serrinha, propõe-se que o ambiente onde estas duas suítes foram formadas corresponderia a um arco intraoceânico. Desta maneira, deve-se separar a evolução das rochas da suíte félsica Tiradentes da evolução das rochas anfibolíticas do *greenstone belt* *Dores* de Campos.

Os dados obtidos apontam que os componentes da suíte félsica Tiradentes correspondem à segunda ocorrência de rochas vulcânicas e subvulcânicas félsicas riacianas do cinturão Mineiro, o que caracteriza que pelo menos uma parte do compartimento vulcânico desse cinturão está exposto no presente nível crustal. Neste contexto, a origem destas rochas está associada a um magma trondhjémítico que teria evoluído e cristalizado bem próximo a superfície em um ambiente do tipo arco de ilha intra-oceânico.

10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, F. M. 2007. Mapeamento geológico da região de Tiradentes – Estação de Prados: caracterização petrográfica de rochas anfíbolíticas e geoquímica do Granito Gentio. Rio de Janeiro. 64 p. Monografia de Trabalho de Graduação, Instituto de Agronomia – Departamento de Geociências – UFRRJ.
- Alkmim F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações Almeidianas ao delimita-lo. *In: Mantesso-Neto et al. (eds) Geologia do Continente SulAmericano. Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.* Becca, 17-35 p.
- Almeida F.F.M. 1977. *O Cráton do São Francisco*. Rev. Bras. Geoc.,**7**:349-364.
- Arth J.G. 1979. Some trace elements in trondhjemites – their implications to magma genesis and paleotectonic setting. *In: Barker F. (ed.) Trondhjemites, dacites and related rocks.* Elsevier, Amsterdam, p.124-132
- Ávila C.A. 2000. *Geologia, petrografia e geocronologia de corpos plutônicos Paleoproterozóicos da borda meridional do Cráton São Francisco, região de São Francisco, região de São João del Rei, Minas Gerais*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 401 p.
- Ávila C. A. ; Teixeira W. ; Cordani U. G. ; Moura C.A.V. ; Pereira R. M. 2010. *Rhyacian (2.23-2.21) juvenile accretion in the southern São Francisco craton, Brazil: Geochemical and isotopic evidence from the Serrinha magmatic suite, Mineiro belt.* Journal of South American Earth Sciences, **29**: 464-482 p.
- Ávila, C.A.; Valença, J.G.; Moura, C.A.V.; Ribeiro, A. & Paciullo, F.V., 1998. Idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircões de corpos metaplutônicos da região de São João Del Rei, borda sul do Cráton do São Francisco, Minas Gerais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 40.,1998, Belo Horizonte. Boletim de Resumos.* Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia V.1, p 75-78.
- Ávila C.A., Barrueto H.R., Valença J.G., Ribeiro A., Pereira R.M., 2007a. *Petrografia e evolução magmática da Suíte Serrinha, porção meridional do Cráton São Francisco, Estado de Minas Gerais, Brasil.* Arquivos do Museu Nacional **65**: 59–81.
- Ávila C.A., Bongioiolo E.M., Teixeira W., Dussin I.A., Vieira, T.A.T., Guerrero J.C. 2011. Geoquímica e geocronologia das rochas vulcânicas e subvulcânicas rhyacianas da suite

félsica Tiradentes e sua relação com o Cinturão Mineiro. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica.

Ávila C.A., Teixeira W., Barrueto H.R., Pereira R.M. 2006. *Geochemistry of the Glória quartzmonzodiorite: implications of dioritic magmatism in the Paleoproterozoic evolution of the southern sector of the Mineiro Belt, Minas Gerais State, Brazil*. Arq. Mus. Nac. **64**:73-92.

Babinski, M., Chemale, F., William, R., Van Schmus, W.R., 1995. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Precambrian Research* 72, 235–245.

Barker F. 1979. Trondhjemites, dacites and related rocks. In: Barker F. (ed.) *Trondhjemites, dacites and related rocks*. Elsevier, Amsterdam, p.1-12.

Barker F. & Arth J.G., 1976. *Generation of trondhjemite-tonalitic liquids and Archaean bimodal trondhjemite-basalt suites*. *Geology*, **4**: 596-600.

Best, M.G. 1982. *Igneous and Metamorphic Petrology*. W.H. Freeman and Company, New York, 630p.

Bezerra Filho, A.P. 2006. Geologia, petrografia e geoquímica do Quatzo Diorito Dores de Campos e suas rochas encaixantes, Região de Tiradentes – Dores de Campos, Estado de Minas Gerais. Rio de Janeiro. 52 p. Monografia de Trabalho de Graduação, Instituto de Agronomia – Departamento de Geociências – UFRRJ.

Bongiolo E. M. 2005. *Depósitos hidrotermais em arcos magmáticos e alterações associadas*. (Monografia de exame de qualificação). Boynton W.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 63–114.

Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth element: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, pp. 63–114.

Brito Neves, B.B., Winge, M., Carneiro, M.A. 1996. *Orogêneses precedendo e tafrogêneses sucedendo Rodínia na América do Sul*. Bol. IG-USP, Sér. Cient., **27**: 1- 40.

Cherman A.F. 2004. Geologia, petrografia e geocronologia de ortognaisses paleoproterozoicos da borda meridional do cráton São Francisco, na Região entre

- Itumirim e nazareno, Minas Gerais. Dissertação de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 259p.
- Didier J., Barbarin B. 1991. The different type of enclaves in granites – Nomenclature. *In*: Didier J & Barbarin B. (eds.). Enclaves and Granite Petrology. Netherlands, Elsevier, p.19-23.
- Dorado, A.C. 1989. *Petrografía Básica – Texturas, Clasificación y Nomenclatura de Rocas*. Madrid, Ed. Paraninfo, 143p.
- Dussin, I.A., Dossin, T.M, Charvet, J., Cocherie, A. & Rossi, P. 1993. Single zircon dating by step-wise Pb-evaporation of Middle Proterozoic magmatites in the Espinhaço Range, southeastern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil) – II Simp. Craton São Francisco, Anais, p. 39 - 42
- Ebert, H. 1957. Aspectos principais da geologia de São João del Rei, Estado de Minas Gerais. Relatório inédito da PROSPEC, 120p. Publicado “in memoriam” pela SBG, Núcleo São Paulo. Publicação 12/1984:1-71.
- Ebert H. 1963. *The manganese-bearing Lafaiete Formation as a guide-horizon in the Pre-Cambrian of Minas Gerais*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, **35**(4):545-559.
- Figueiredo, M. C. H.; Teixeira, W. (1996) The mantiqueira metamorphic complex, eastern Minas Gerais state: preliminary geochronological and geochemical results. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 68, n. 2, p. 223-246.
- Guerrero, J.C. 2011. *Geologia do gabro Vitoriano Veloso e das rochas da suíte félsica Tiradentes, região entre Tiradentes, Vitoriano Veloso, Prados e Dolores de Campos, estado de Minas Gerais*. Trabalho Final de Curso, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 97p.
- Guimarães, D. & Paiva, G., 1927. Geologia da Folha São João D’El Rey, Estado de Minas Gerais. Boletim do Departamento Nacional Produção Mineral – Serviço Geológico e Mineralógico, 36:26-44.
- Heilbron M., Duarte B.P., Valeriano C.M., Simonetti A., Machado N., Nogueira J.R. 2010. *Evolution of reworked Paleoproterozoic basement rocks within the Ribeira belt (Neoproterozoic), SEBrazil, based on U–Pb geochronology: Implications for*

paleogeographic reconstructions of the São Francisco-Congo paleocontinent, Precambrian Research, **178**: 136–148.

Irvine T.N., & Baragar W.R.A. 1971. *A guide to chemical classification of the common volcanic rocks*. Canadian Journal of Earth Sciences, **8**:523-548.

Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B. 1986. *A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram*. Journal of Petrology, London, **27**: 745-750.

Le Maitre R.W., Bateman P., Ducek A., Keller J. Lameyre J., Le Bas M.J., Sabine P.A., Schmid R., Sorensen H., Streckeisen A., Wooley A.R. & Zanettin B. 2002. *A classification of igneous rocks and glossary of term*. Blackwell Scientific Pub., London, 193 p.

Machado, N. & Schrank, A. (1989) Geocronologia U/Pb no Maciço de Pumhi - resultados preliminares. In: Simpósio de Geologia do Núcleo de Minas Gerais, 5.; Simpósio de Geologia do Núcleo de Brasília, 1., Belo Horizonte, 1989. **Anais**. Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Minas Gerais, p.45-49 (Boletim 10).

Machado, N., Carneiro, M. A. U-Pb Evidence of late Archean tectono-thermal activity in Southern São Francisco Shield, Brazil. *Can. Jour. Earth Sci.*, v. 29, p. 2341-2346, 1992.

Machado, N.; Schrank, A.; Abreu, F.R.; Knauer, L.G. & Abreu, P.A.A., 1989. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço meridional. In: Simpósio Geologia Minas Gerais, 5., Belo Horizonte, 1989. *Anais...*, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia. v.1, p.171-174.

Machado, N., Noce, C.M., Ladeira, E.A., Belo de Oliveira, O., 1992. U–Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco craton, Brazil. *Geological Society of America Bulletin* 104, 1221–1227.

Maniar P.D. & Piccoli P.M. 1989. *Tectonic discrimination of granitoids*. *Geological Society of America Bulletin*, **101**: 635–643.

Mello A.G. 2003. Rochas metavulcânicas máficas e metaculmuláticas máficas e ultramáficas do Greenstone Belt Barbacena e metagranitóides intrusivos, na área de

- Dores de Campos, sul do estado de Minas Gerais. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 159 p.
- Mullen E.D. 1983. *MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis*. Earth and Plan. Science Letters, **62**: 53-62.
- Noce, C. M. 1987. Estudo geológico-estrutural do Grupo São João dei Rei na região de Tiradentes- Barroso -Barbacena, MG e considerações sobre seu embasamento. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p.156.
- Noce, C.M., 1995. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 128p. Tese de Doutorado em Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Noce, C.M., Teixeira W., Québécois, J.J.G., Martins, V.T.S. & Bolzachini E. 2000. *Isotopic signatures of paleoproterozoic granitoids from southern São Francisco Craton and implications for the evolution of the Transamazonian Orogeny*. Journal of South American Earth Sciences, Oxford, **13**(2):225-239.
- Noce C.M., Zuccheti M., Baltazar O.F., Armstrong R., Dantas E., Renger F.E., Lobato L.M. 2005. Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the evolution of the Neoproterozoic Rio das Velhas greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil): U-Pb zircon dating of volcanoclastic graywackes. Precambrian Research, 141:67-82.
- Noce C.M., Pedrosa-Soares A.C., Silva L.C., Armstrong R., Piuze D., 2007. *Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí orogen, based on U-Pb SHRIMP data: Implication of Brazil-Africa links in Paleoproterozoic time*. Precambrian Research **159**: 60-78.
- O'Connor J.T. 1965. *A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios*. US Geological Survey Professional Papers, **525**(B):79-84.
- Petri S., Coimbra A.M., Amaral G., Ponçano W.L. 1986. Guia de nomenclatura estratigráfica. Revista Brasileira de Geociências., 16 (4): 376-415.
- Pearce J.A. & Cann J.R. 1973. *Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses*. Earth and Planetary Science Letters, **19**:290-300.

- Pearce, J.A. & Norry, M.J., 1979. Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Volcanic Rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69: 33-47.
- Pearce J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G. 1984. *Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granite rocks*. *Journal of Petrology*, **25**: 956-983.
- Quéméneur, J.J.G. & Noce, C.M., 2000. Geochemistry and petrology of felsic and mafic suites related to the Paleoproterozoic Transamazonian orogeny in Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, **30**(1):87-90.
- Ribeiro A., Ávila C.A., Valença J.G., Paciullo F.V.P., Trouw R.A.J. 2003. Geologia da Folha São João del Rei (1:100.000). Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG (Ed.). *Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Brasileiro*, **III** (11): 521-622p.
- Rollinson H.R., 1993, *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman, UK. 352 pp. [Co-published by J. Wiley & Sons. Inc. in the USA]. IBSN 0 582 0 6701 4. Reprinted 1994, 1995, 1996, 1998. Printed in Chinese 2000.
- Schobbenhaus, C., Hoppe, A., Baumann, A., Lork, A., 1994. Idade U/Pb do vulcanismo Rio dos Remédios, Chapada Diamantina, Bahia. In: XXXVIII Congresso Brasileiro Geologia, Camboriú, vol. 1, pp. 397–399.T
- Shand, S.J., 1943. *Eruptive Rocks*, 2nd ed. Wiley, New York.
- Streckeisen, A. 1976. To each plutons rock its proper name. *In: Earth – sci. Rev.*, 12:1.33.
- Teixeira, W. 1982. Geochronology of the southern part of the São Francisco Craton. *Rev. Bras. Geoc.* v. 12. p. 268-277.
- Teixeira, N.A., 1992. Contribuição a geologia do "Greenstone Belt" Itumirim-Nazareno (MG). In: Congresso Brasileiro Geologia, 37., São Paulo, 1992. Boletim Resumos Expandidos..., São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia. v.1, p.476-477.
- Teixeira, W.; Noce, C.M.; Quemeneur, J.J.G. & Martins, V.T.S., 1997. Sr, Nd and Pb isotopic signatures of intrusive granitoids of the Paleoproterozoic Mineiro magmatic arc, southern São Francisco Craton, Brazil. In: International Symposium on Granites and Associated Mineralizations, 2., Salvador, Brazil. Extend Abstracts..., Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.288-289.

- Williams, H., Turner, F.J., and Gilbert, C.M. 1954. *Petrografia: Uma Introdução ao Estudo das Rochas em Seções Delgadas - tradução de Ruy Ribeiro Franco*. São Paulo, Polígono e Editora da Universidade de São Paulo, 424p.
- Williams, H.; Turner, F.J.; Gilbert, C.M., 1970. - *Petrografia- Uma Introdução ao Estudo das Rochas em Seções Delgadas*. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 445pp.
- Winchester J.A. & Floyd P.A. 1977. *Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements*. Chem. Geol, **20**:325-343.
- Yardley, B.W.D. 2004. *Introdução à petrologia metamórfica - tradução de Reinhardt Adolfo Fuck*. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 432p.

Legenda

Neógeno

Sedimentos fluviais

Paleo-Meso-Neoproterozóico

Megassequências São João Del Rei e Carandai

Magnetita Clorita Filito

Paleoproterozóico

Sequência metavulcânica –
metassedimentar Estação de Tiradentes

Tonalito

Gabro Vitoriano Veloso

Ortognaisse Tonalítico Brejo Alegre

Diorito Dolores de Campos

Suíte Física Tiradentes

Rochas Vulcânicas e Subvulcânicas Alálticas

Rochas Subvulcânicas Faneríticas

Andesito Máfico Santo Antônio

Rochas Ultramáficas

Greenstone Belt Dolores de Campos

Metagabro Estação de Prados

Metaperidotito-metapiroxenito Estação de Prados

Convenções

○ Localidades

— Foliação ígnea

— Foliação metamórfica

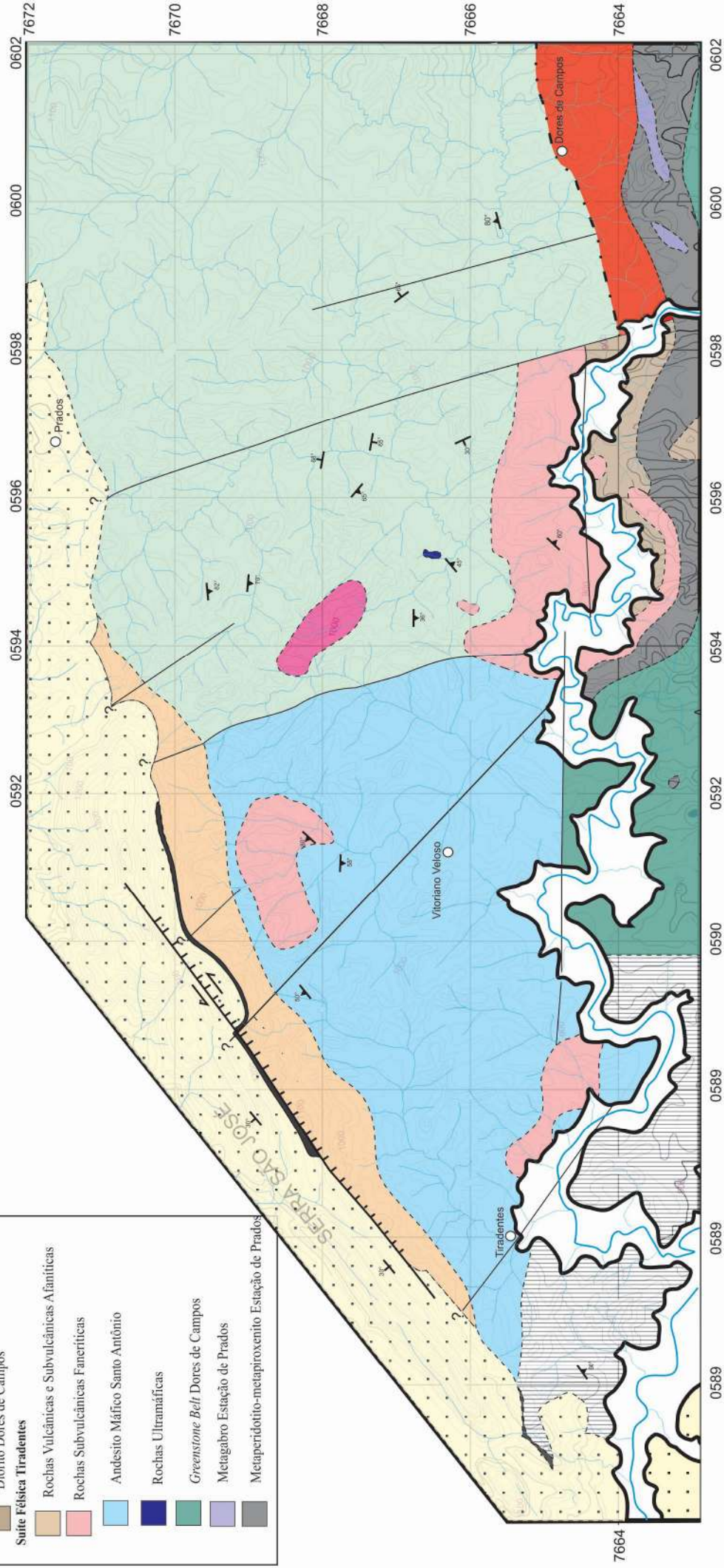
— Falha oblíqua

--- Contato inferido

— Falha inferida

— Cota topográfica

— Drenagem



Legenda

Neógeno

Sedimentos fluviais

Paleo-Meso-Neoproterozóico

Megasequências São João Del Rei e Carandai

Magnetita Clorita Filito

Paleoproterozóico

Sequência metavulcânica – metassedimentar Estação de Tiradentes

Tonalito

Gabro Vitoriano Veloso

Ortoenaisse Tonalítico Brejo Alegre

Diorito Dores de Campos

Suíte Física Tiradentes

Rochas Vulcânicas e Subvulcânicas Afaníticas

Rochas Subvulcânicas Faneríticas

Andesito Máfico Santo Antônio

Rochas Ultramáficas

Greenstone Belt Dores de Campos

Metagabro Estação de Prados

Metaperidotito-metaproxenito Estação de Prados

Anexo II: Mapa de Pontos

Autora: Thayla Almeida Teixeira Vieira
Orientador: Prof. Dr. Ciro Alexandre Ávila
Co-orientador: Everton Marques Bongioiolo

